



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ « ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

**Αυτοματισμός παρακολούθησης διεργασιών εργοστασίου
κατασκευής πλαστικών ειδών**

Αγγελής Κουλός

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Χ. Βοσνιάκος

ΑΘΗΝΑ 2020

Περίληψη

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι κατασκευής πλαστικών ειδών και ειδικότερα πλαστικών δοχείων που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία παρασκευής τροφίμων. Παρόλα αυτά η μέθοδος χύτευσης πλαστικού με έγχυση υπό πίεση (Injection Molding - IM) αποτελεί την πλέον διαδεδομένη. Στην συγκεκριμένη διαδικασία η πρώτη ύλη που είναι κάποιο θερμοπλαστικό υλικό σε κοκκώδη μορφή εισάγεται μέσω μίας συσκευής που ονομάζεται χοάνη σε έναν θερμαινόμενο κύλινδρο εντός του οποίου βρίσκεται ένας κοχλίας. Στη συνέχεια ο κοχλίας λειτουργώντας σαν έμβολο εξωθεί με μεγάλη πίεση το τετηγμένο θερμοπλαστικό υλικό, το οποίο πλέον λόγω της θερμότητας που έχει αναπτυχθεί βρίσκεται σε ρευστή κατάσταση, εντός της κοιλότητας ενός καλουπιού. Εκεί το τετηγμένο υλικό ψύχεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας αποκτώντας την επιθυμητή του μορφή. Η διαδικασία τερματίζει με την ανάστροφη περιστροφή του κοχλίας για την εισαγωγή της επόμενης δόσης και το άνοιγμα του καλουπιού για την απομάκρυνση του παραγόμενου προϊόντος.

Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί ιδανική περίπτωση όταν στόχος είναι η μαζική παραγωγή πολύπλοκων σχηματικά προϊόντων με ακρίβεια στη σχεδίαση. Η παραγωγή των προϊόντων που δημιουργούνται βάσει της μεθόδου IM γίνεται από συγκεκριμένες μηχανές που ονομάζονται μηχανές χύτευσης πλαστικού με έγχυση (Injection Molding Machines - IMM). Αναλύοντας την διεργασία IM παρατηρείται ότι μία σειρά παραγόντων όπως η πίεση, η θερμοκρασία, ο χρόνος κ.α. παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Μάλιστα οι σχέσεις μεταξύ αυτών των παραγόντων είναι αλληλοεξαρτώμενες και η ρύθμιση τους αποτελεί μία χρονοβόρα διαδικασία.

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας έγινε προσπάθεια ανάπτυξης ενός συστήματος εποπτικού ελέγχου και παρακολούθησης (Supervisory Control and Data Acquisition - SCADA) το οποίο εφαρμόστηκε στη βιομηχανία παραγωγής πλαστικών σκευασμάτων για αποθήκευση τροφίμων ΠΛΑΣΤΙΚΑ Κ.ΚΟΤΡΩΝΗΣ ΑΒΕΕ. Μέσω του εν λόγω συστήματος παρακολουθείται η κατάσταση λειτουργίας των IMM του εργοστασίου και παράγονται χρονικά δεδομένα που αφορούν τον κύκλο της διεργασίας IM. Τα δεδομένα αυτά προβάλλονται μέσω της εφαρμογής αλληλεπίδρασης ανθρώπου-υπολογιστή (Human Machine Interface - HMI) που αναπτύχθηκε με διάφορες μορφές (γραφικές παραστάσεις, πίνακες κ.α.). Επιπλέον, στο εν λόγω σύστημα εντάχθηκαν και περιφερειακές συσκευές που υποστηρίζουν την διεργασία IM, η παρακολούθηση και ο έλεγχος των οποίων είναι απαραίτητα για την απρόσκοπτη λειτουργία της παραγωγικής διαδικασίας.

Η παρακολούθηση και η συλλογή των παραπάνω πληροφοριών αποτελεί το πρώτο στάδιο για τη βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας του εργοστασίου και την εκπλήρωση των στόχων που τίθενται στα πλαίσια του **Industry 4.0**.

Abstract

There are several methods of making plastic items and especially plastic containers used in the food industry. However, the method of molding plastic with pressure injection (Injection Molding - IM) is the most common. In this process, the raw material that is a thermoplastic material in granular form is introduced through a device called hopper into a heated cylinder in which there is a material transfer screw. Then the screw, acting as a piston, injects the molten thermoplastic material with high pressure, which is now in a fluid state due to the heat that has developed, inside the cavity of a mold. There the molten material is cooled under specific conditions of pressure and temperature, acquiring its desired shape. The process ends with the reverse rotational movement of the screw in order to feed the next dose and with the opening of the mold in order to remove the product.

This particular method is ideal when the goal is mass production of parts of complex form with high designed accuracy. The production by IM method is implemented on specific machines termed Injection Molding Machines (IMM). Analyzing the IM process, it is observed that a number of factors such as pressure, temperature, time, etc. play a very important role in the quality of the manufactured products. In fact, the relations between these factors are interdependent and their regulation is a time-consuming process.

In the context of this postgraduate thesis, an attempt was made to develop a Supervisory Control and Data Acquisition system (SCADA) which was applied in the food container manufacturing industry KOTRONIS PLASTICS SA. This system monitors the operating status of the factory's IMMs and generates time data related to the IM process. These data are displayed through the Human Machine Interface (HMI) application developed for this purpose in various forms (graphs, tables, etc.). In addition, peripheral devices that support the IM process have been included in this system, the monitoring and control of which are a crucial for the proper operation of the production process.

The monitoring and collection of the above information is the first stage for the optimization of the production process of the factory and the fulfillment of the objectives set in the framework of **Industry 4.0**.

Ευχαριστίες

Η ολοκλήρωση παρούσας μεταπτυχιακής εργασία αποτελεί το τελευταίο βήμα για την κτήση του Διπλώματος Μεταπτυχιακής Ειδίκευσης στα «Συστήματα Αυτοματισμού». Για το σκοπό αυτό θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Γεώργιο Χ. Βοσνιάκο για την άψογη συνεργασία και την αμέριστη στήριξη που μου παρείχε για την επιτυχή ολοκλήρωση της. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την διοίκηση και το τεχνικό τμήμα της εταιρίας ΠΛΑΣΤΙΚΑ Κ.ΚΟΤΡΩΝΗΣ ΑΒΕΕ που μου έδωσαν την ευκαιρία να υλοποιήσω το πρακτικό μέρος της παρούσας εργασίας σε πραγματικές συνθήκες μίας σύγχρονης βιομηχανικής μονάδας αποκομίζοντας από τη συνεργασία μας πολύτιμες τεχνικές γνώσεις και εμπειρία. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους για την στήριξη τους και την υπομονή τους όλο αυτόν καιρό.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	2
Abstract	3
Ευχαριστίες.....	4
Περιεχόμενα.....	5
Κατάλογος Εικόνων	8
Κατάλογος Πινάκων	16
Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή	17
1.1 Σκοπός εργασίας	17
1.2 Δομή εργασίας	18
Κεφάλαιο 2 - Η βιομηχανία πλαστικών και η εξέλιξη της	19
2.1 Η ιστορία των πλαστικών δοχείων αποθήκευσης	19
2.2 Διαδικασίες παραγωγής πλαστικών δοχείων	20
2.3 Η εξέλιξη της διεργασίας IM	22
2.4 Η πρώτη ύλη.....	23
2.5 Υποστήριξη της διεργασίας IM.....	24
Κεφάλαιο 3 – Ανάλυση της διεργασίας IM και παρουσίαση μηχανών IMM	26
3.1 Οι σύγχρονες IMM	26
3.1.1 Μονάδα έγχυσης.....	27
3.1.2 Μονάδα σύσφιξης.....	28
3.1.3 Μονάδα ελέγχου και οδήγησης.....	28
3.2 Το καλούπι μιας IMM.....	29
3.3 Ο κύκλος της διεργασίας IM	30
3.4 Μεταβλητές της διεργασίας IM	32
3.5 Ανάγκη για εποπτικό έλεγχο	36
Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση των συστημάτων SCADA.....	38
4.1 Τα συστήματα SCADA.....	38
4.2 Ιστορική αναδρομή	39
4.3 Αρχιτεκτονική των συστημάτων SCADA.....	40
4.3.1 Μονολιθικά συστήματα (Monolithic systems)	40
4.3.2 Κατανεμημένα συστήματα (Distributed Systems).....	41
4.3.3 Δικτυωμένα συστήματα (Networked systems).....	42
4.3.4 Διαδίκτυο των πραγμάτων & συστήματα SCADA (IoT – Internet of Things)	43

4.4 Στοιχεία που αποτελούν το σύστημα SCADA.....	44
4.4.1 Τερματικές μονάδες (Remote Terminal Units – RTUs)	45
4.4.2 Programmable Logic Controller – PLC	45
4.4.3 Σύστημα Τηλεμετρίας (Telemetry System)	46
4.4.4 Διακομιστής απόκτησης δεδομένων και αποθήκευσης ιστορικού (Data Acquisition Server)	46
4.4.5 Διεπαφή ανθρώπου μηχανής (Human Machine Interface – HMI)	47
4.4.6 Κεντρική Τερματική Μονάδα (Master Terminal Unit – MTU)	47
4.5 Πρωτόκολλα επικοινωνίας.....	47
4.5.1 Πρωτόκολλο RS-232	48
4.5.2 Πρωτόκολλο RS-485	49
4.5.3 Πρωτόκολλο Modbus	52
4.5.3.1 Modbus RTU	53
4.5.3.2 Modbus ASCII	55
4.5.3.3 Modbus TCP.....	55
4.5.4 Πρωτόκολλο Profibus	57
4.5.5 Πρωτόκολλο Profinet	59
4.6 Οφέλη από την χρήση συστημάτων SCADA.....	61
Κεφάλαιο 5 - Τρόπος σχεδίασης συστήματος SCADA και επιλογή υλικών	63
5.1 Λειτουργίες του συστήματος SCADA	63
5.2 Εξοπλισμός που παρακολουθείται μέσω του συστήματος SCADA	64
5.2.1 IMM (Krauss Maffei & Demag).....	64
5.2.2 Αντλίες κυκλοφορίας νερού.....	65
5.2.3 Κεντρικό σύστημα παροχής πεπιεσμένου αέρα και κενού	66
5.3 Επιλογή και ανάλυση σημάτων εισόδου στο σύστημα SCADA	67
5.4 Ανάλυση σημάτων εξόδου του συστήματος SCADA.....	69
5.5 Τρόπος επιλογής σημάτων και πρωτόκολλα Euromap 12 και Euromap 67	70
5.6 Χωροταξία του συστήματος SCADA και επιλογή υλικών.....	75
5.6.1 Κεντρικό PLC.....	76
5.6.2 Module 8 DI/DO	77
5.6.3 Module 4 AI	78
5.6.4 Remote I/O	79
5.6.5 Αισθητήρας μέτρησης πίεσης	80
5.6.6 Αισθητήρας μέτρησης κενού	81

Κεφάλαιο 6 - Ανάπτυξη προγράμματος.....	83
6.1 Περιβάλλον TIA Portal.....	83
6.2 TIA Portal - Device configuration.....	84
6.3 TIA Portal - Network configuration	88
6.4 Μεταβλητές (Tags) και κώδικές για τα συστήματα του SCADA.....	91
6.4.1 Program block και tag table για την IMM Krauss Maffei	91
6.4.2 Program block και tag table για την IMM Sumitomo Demag	100
6.4.3 Program block και tag table για το σύστημα των αντλιών κυκλοφορίας νερού .	105
6.4.4 Program block και tag table για το σύστημα πεπεισμένου αέρα και κενού	108
6.5 Η συνάρτηση main του προγράμματος	113
Κεφάλαιο 7 - Ανάπτυξη HMI εφαρμογής.....	115
7.1 Περιβάλλον Simatic Win CC	115
7.2 Δημιουργία εφαρμογής και διαμόρφωση του SCADA server H/Y.....	116
7.3 Εγκατάσταση driver επικοινωνίας και ορισμός μεταβλητών εφαρμογής.....	120
7.4 Δημιουργία εικόνων (pictures) της εφαρμογής HMI	124
7.4.1 Εικόνα εκκίνησης – Start.Pdl	124
7.4.2 Εικόνα μηχανών – Machines.Pdl	128
7.4.3 Εικόνες για χρόνους μηχανών – Krauss_Times.Pdl & Demag.Pdl.....	132
7.4.4 Εικόνα αντλιών κυκλοφορίας νερού – Pumps.Pdl	134
7.4.5 Εικόνα κεντρικού δικτύου πεπεισμένου αέρα και κενού –Air-Vacuum.Pdl	141
7.4.6 Εικόνα χειρισμού S60-2 – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	152
7.4.7 Καταγραφή και αποθήκευση μεταβλητών – Tag Logging	156
7.4.8 Δημιουργία εικόνας – Machine_Cycle1_Logging.Pdl.....	161
7.4.9 Διαμόρφωση μηνυμάτων εκτάκτων καταστάσεων – Alarm Logging	167
7.4.10 Δημιουργία εικόνας – Alarm_Logging.Pdl.....	173
Κεφάλαιο 8 - Παρουσίαση εφαρμογής.....	177
8.1 Παρουσίαση ηλεκτρολογικής εγκατάστασης – πίνακα αυτοματισμού.....	177
8.2 Παρουσίαση εφαρμογής σε Runtime mode	178
Κεφάλαιο 9 - Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα	189
9.1 Ανασκόπηση εργασίας και περεταίρω εξέλιξη	189
Βιβλιογραφία	191
ΠΑΡΑΤΗΜΑ – Ηλεκτρολογικό σχέδιο.....	194

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Κατηγορίες προϊόντων της βιομηχανίας ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΟΤΡΩΝΗΣ ΑΒΕΕ	20
Εικόνα 2: Πολυπροπυλένιο (PP) σε κοκκώδη μορφή	24
Εικόνα 3: Ρομποτικός βραχίονας κατά τη διαδικασία IML [4].....	25
Εικόνα 4: Δομή μίας τυπικής IMM [5].....	26
Εικόνα 5: Δομή της μονάδας έγχυσης [6] (1) Κύλινδρος κοχλία (2) Κύλινδρος κίνησης (3) Σφήνα σύσφιξης (4) Σύνδεσμός κοχλία (5) Έμβολο έγχυσης (6). Άξονας κίνησης (7) Κινητήρας (8) Γραμμικός οδηγός ακρίβειας (9) Στήριγμα βραχίονα	27
Εικόνα 6: Δομή της μονάδας έγχυσης [6] (1) Ζώνη εξώθησης (2) Ζώνη συμπίεσης (3) Ζώνη εισόδου	27
Εικόνα 7: Δομή μίας μονάδας πλαστικοποίησης [6]. (1) Προθάλαμος κοχλία, (2) Κοχλίας, (3) Τοιχώματα κυλίνδρου, (4) Χοάνη πλήρωσης.....	28
Εικόνα 8: Απεικόνιση δομής της μονάδας σύσφιξης [7]	28
Εικόνα 9: Μονάδα ελέγχου IMM Krause Maffei C2.....	29
Εικόνα 10: Γραμμικό διάγραμμα καλουπιού [8].....	30
Εικόνα 11: Επιρροή της συνάρτησης της πίεσης στην ποιότητα του χυτού τεμαχίου [6].....	33
Εικόνα 12: Θερμοκρασίες καλουπιού για ενδεικτικά συνθετικά υλικά [6].....	35
Εικόνα 13: Αναπαράσταση κεντρικού σταθμού συστήματος SCADA.....	39
Εικόνα 14: Μονολιθικό σύστημα SCADA – 1 ^η γενιά [11]	41
Εικόνα 15: Κατανεμημένα συστήματα SCADA – 2 ^η γενιά [11].....	42
Εικόνα 16: Δικτυωμένα συστήματα SCADA – 3 ^η γενιά [11]	43
Εικόνα 17: Συστήματα SCADA και IoT αρχιτεκτονική	44
Εικόνα 18: RTU	45
Εικόνα 19: PLC S7-1200 της εταιρίας SIEMENS.....	46
Εικόνα 20: Παράδειγμα διασύνδεσης στοιχείων σε δίκτυο συστήματος SCADA	46
Εικόνα 21: Το μοντέλο OSI των 7 επιπέδων.....	48
Εικόνα 22: Το πρωτόκολλο RS-232.....	49
Εικόνα 23: Διάγραμμα παλμών επιπέδων τάσης για τον ASCII χαρακτήρα “K” (0x4B) με 1 bit έναρξης, 8 bit δεδομένων (το λιγότερο σημαντικό bit πρώτα), 1 bit τερματισμού [15].....	49
Εικόνα 24: Η παρουσία θορύβου σε κανονικό και συνεστραμμένου ζεύγους καλώδιο	50
Εικόνα 25: Half – duplex RS-485 με 2 επαφές.....	51
Εικόνα 26: Full– duplex RS-485 με 4 επαφές	52
Εικόνα 27: Τύποι καταχωρητών του πρωτοκόλλου Modbus.....	53
Εικόνα 28: Κωδικοί λειτουργίας του πρωτοκόλλου Modbus	54
Εικόνα 29: Παράδειγμα μηνύματος ενός Modbus Master προς έναν Modbus Slave.....	54
Εικόνα 30: Απάντηση του Modbus Slave στο αίτημα του Modbus Master.....	55
Εικόνα 31: Το πλαίσιο (frame) ενός πακέτου πληροφορίας με βάση το Modbus TCP	56
Εικόνα 32: Μήνυμα ενός Modbus Master προς έναν Modbus Slave βάση του πρωτοκόλλου Modbus TCP.....	56
Εικόνα 33: Απάντηση του Modbus Slave στο αίτημα του Modbus Master με βάση το Modbus TCP.....	57
Εικόνα 34: Τοπολογία ενός δικτύου Profibus	58
Εικόνα 35: Κανάλια επικοινωνίας του πρωτοκόλλου Profinet σε σχέση με το μοντέλο OSI .	60
Εικόνα 36: Τοπολογία ενός δικτύου Profinet	61

Εικόνα 37: IMM Krauss Maffei C2	65
Εικόνα 38: IMM Sumitomo (SHI) Demag EI-Exis SP.....	65
Εικόνα 39: Πίνακας ισχύος τρίδυμου συστήματος αντλιών	66
Εικόνα 40: Πίνακας ελέγχου τρίδυμου συστήματος αντλιών.....	66
Εικόνα 41: Πίνακας ισχύος και ελέγχου δίδυμου συστήματος αντλιών	66
Εικόνα 42: Κεντρικό σύστημα παραγωγής πεπιεσμένου αέρα	67
Εικόνα 43: Αεροσυμπιεστές BOGE	67
Εικόνα 44: Μονάδα ελέγχου IMM Krause Maffei C2 του εργοστασίου ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΟΤΡΩΝΗΣ ABEE.....	70
Εικόνα 45: Ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ IMM και ρομπότ σύμφωνα με το Euromap 12	71
Εικόνα 46: Μονάδα ελέγχου της IMM Sumitomo DEMAG EI-Exis.....	72
Εικόνα 47: Ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ IMM και ρομπότ σύμφωνα με το Euromap 67	72
Εικόνα 48: Επαφές σημάτων του πίνακα αυτοματισμού του δίδυμου συστήματος.....	73
Εικόνα 49: Επαφές για σήματα λειτουργίας των αντλιών του τρίδυμου	74
Εικόνα 50: Επαφές για σήματα βλάβης των αντλιών του τρίδυμου	74
Εικόνα 51: Επαφές για σήματα λειτουργίας και βλάβης του αεροσυμπιεστή S60-2.....	74
Εικόνα 52: Αριστερά αισθητήρας πίεσης, δεξιά αισθητήρας κενού προσαρμοζόμενοι στο κεντρικό δίκτυο	75
Εικόνα 53: Θέση πίνακα ελέγχου του συστήματος SCADA.....	76
Εικόνα 54: PLC του συστήματος SCADA.....	76
Εικόνα 55: Τεχνικά χαρακτηριστικά CPU 1215C	77
Εικόνα 56: 8 DI/DO module της εταιρίας Siemens	78
Εικόνα 57: Τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας SM 1223 DC/DC.....	78
Εικόνα 58: 4 AI module της εταιρίας Siemens	79
Εικόνα 59: Τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας SM 1231 AI	79
Εικόνα 60: Remote I/O για τη μεταφορά σημάτων μέσω δικτύου Profinet από τις IMM στο PLC.....	80
Εικόνα 61: Τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας WAAGO PROFINET I/O 750-375	80
Εικόνα 62 Αισθητήρας πίεσης SICK.....	81
Εικόνα 63: Τεχνικά χαρακτηριστικά PBT-RB010SG1SSNAMA0Z.....	81
Εικόνα 64: Αισθητήρας κενού SICK	82
Εικόνα 65: Τεχνικά χαρακτηριστικά PBT-CB1X0SG1SSNAMA0Z.....	82
Εικόνα 66: Αρχική οθόνη TIA Portal V14.....	84
Εικόνα 67: Device configuration του PLC, του AI και του DI/DO modules.....	85
Εικόνα 68: Διευθυνσιοδότηση των εισόδων και εξόδων του συστήματος	86
Εικόνα 69: Παραμετροποίηση AI module για τον αισθητήρα πίεσης	87
Εικόνα 70: Παραμετροποίηση AI module για τον αισθητήρα κενού	87
Εικόνα 71: Παραμετροποίηση Remote I/O WAGO.....	88
Εικόνα 72: Network configuration για το PLC S7-1200	89
Εικόνα 73: Δημιουργία ονόματος του PLC στο δίκτυο	89
Εικόνα 74: Network configuration για το Remote I/O WAGO 750-375.....	90
Εικόνα 75: Δημιουργία ονόματος του Remote I/O στο δίκτυο	90
Εικόνα 76: Τοπολογία του δικτύου	90
Εικόνα 77: Σύνδεση διεπαφών μεταξύ PLC και Remote I/O.....	91
Εικόνα 78: Krauss_Maffei_Tags με τα 27 πρώτα tags.....	92

Εικόνα 79: Krauss_Maffei_Tags με τις υπόλοιπες μεταβλητές.....	92
Εικόνα 80: Machine cycle with robot – Network 1 & 2.....	93
Εικόνα 81: Machine cycle with robot – Network 3	94
Εικόνα 82: Machine cycle with robot – Network 4	94
Εικόνα 83: Machine cycle with robot – Network 5 & 6.....	95
Εικόνα 84: Machine cycle without robot	96
Εικόνα 85: Injection & B-Piesh time – Network 9 & 10.....	96
Εικόνα 86: Injection & B-Piesh time – Network 11 & 12.....	97
Εικόνα 87: Cooling time – Network 13 & 14	98
Εικόνα 88: Cooling time – Network 15 & 16	98
Εικόνα 89: Plasticising time – Network 17 & 18.....	99
Εικόνα 90: Ενδείξεις λειτουργίας μηχανής 73	99
Εικόνα 91: Alarm για την μηχανή 73.....	100
Εικόνα 92: Demag_Tags [28].....	100
Εικόνα 93: Machine cycle with robot – Network 1 & 2.....	101
Εικόνα 94: Machine cycle with robot – Network 3	101
Εικόνα 95: Machine cycle with robot – Network 4	102
Εικόνα 96: Machine cycle without robot	102
Εικόνα 97: Injection time μηχανής 28.....	103
Εικόνα 98: Injection time μηχανής 28.....	103
Εικόνα 99: Cooling time μηχανής 28 – Network 11 & 12.....	104
Εικόνα 100: Cooling time μηχανής 28 – Network 13 & 14	104
Εικόνα 101: Ενδείξεις λειτουργίας μηχανής 28	105
Εικόνα 102: Alarm για την μηχανή 28.....	105
Εικόνα 103: Antlies_Nerou_Tags [30].....	106
Εικόνα 104: Ενδείξεις λειτουργίας & βλάβης αντλίας No 1	106
Εικόνα 105: Ενδείξεις λειτουργίας & βλάβης αντλίας No 2	107
Εικόνα 106: Ενδείξεις λειτουργίας & βλάβης αντλίας No 3	107
Εικόνα 107: Ενδείξεις λειτουργίας & βλάβης αντλίας No 4	107
Εικόνα 108: Ενδείξεις λειτουργίας & βλάβης αντλίας No 5	107
Εικόνα 109: Λειτουργία ON/OFF του τρίδυμου συστήματος	108
Εικόνα 110: Σήμα λειτουργίας τρίδυμου	108
Εικόνα 111: Λειτουργία ON/OFF του δίδυμου συστήματος.....	108
Εικόνα 112: Σήμα λειτουργίας δίδυμου.....	108
Εικόνα 113: Aeras_Keno_Tags [28].....	109
Εικόνα 114: Alarm_Tags [7].....	109
Εικόνα 115: Αναπαράσταση της τιμής πίεσης του κεντρικού δικτύου αέρα	110
Εικόνα 116: Καταστάσεις alarm για το κεντρικό δίκτυο πεπιεσμένου αέρα	111
Εικόνα 117: Αναπαράσταση της τιμής κενού	111
Εικόνα 118: Καταστάσεις alarm για την τιμή του κενού κεντρικό δίκτυο δημιουργίας κενού	112
Εικόνα 119: Καταστάσεις λειτουργίας και απομακρυσμένος έλεγχος αεροσυμπιεστή S60-2	112
Εικόνα 120: Καταστάσεις λειτουργίας και σφάλματος για τον αεροσυμπιεστή SF60-2.....	113

Εικόνα 121: Καταστάσεις λειτουργίας και απομακρυσμένος έλεγχος αεροσυμπιεστή S29-2	113
Εικόνα 122: Τρεις από τις τέσσερις συνολικά συναρτήσεις του OB1 – Main.....	114
Εικόνα 123: Η τελευταία συνάρτηση FC4 του OB1 – Main.....	114
Εικόνα 124: Το τμήμα πλοήγησης (navigation window) λογισμικού SIMATIC WinCC	116
Εικόνα 125: Επιλογή τύπου project	117
Εικόνα 126: Επιλογή του ονόματος του project	117
Εικόνα 127: Καθορισμός ιδιοτήτων του Η/Υ SCADA server.....	117
Εικόνα 128: Διαμόρφωση Η/Υ του συστήματος SCADA	118
Εικόνα 129: Επιλογή προγραμμάτων εκκίνησης κατά τη διαδικασία Runtime	119
Εικόνα 130: Ρύθμιση γλώσσας και ώρας της εφαρμογής	119
Εικόνα 131: Ρύθμιση παραμέτρων εμφάνισης των εικόνων εργασίας της εφαρμογής	119
Εικόνα 132: Επιλογή driver επικοινωνίας PLC και Η/Υ	120
Εικόνα 133: Δημιουργία σύνδεσης	120
Εικόνα 134 Επιλογή της σύνδεσης που δημιουργήθηκε	121
Εικόνα 135: Παραμετροποίηση σύνδεσης.....	121
Εικόνα 136: Καθορισμός παραμέτρων	121
Εικόνα 137: Δημιουργία group μεταβλητών	122
Εικόνα 138: 1 ^ο group εξωτερικών μεταβλητών	122
Εικόνα 139: 2 ^ο group εξωτερικών μεταβλητών	123
Εικόνα 140: 3 ^ο group εξωτερικών μεταβλητών	123
Εικόνα 141: 4 ^ο group εξωτερικών μεταβλητών	124
Εικόνα 142: Πρόγραμμα Graphics Designer	125
Εικόνα 143: Δημιουργία εικόνας εκκίνησης	125
Εικόνα 144: Static text εικόνας Start.Pdl	125
Εικόνα 145: Graphic object εικόνας Start.Pdl	126
Εικόνα 146 Επιλογή αντικειμένου Button - εικόνα Start.Pdl.....	127
Εικόνα 147: Λειτουργία μετάβασης Button Μηχανές - εικόνα Start.Pdl	127
Εικόνα 148: Κώδικας μετάβασης από το πάτημα του Button Μηχανές – στην εικόνα Machines.Pdl	127
Εικόνα 149: Λειτουργία μετάβασης Button Αντλίες - εικόνα Start.Pdl	128
Εικόνα 150: Λειτουργία μετάβασης Button Αέρας & Κενό - εικόνα Start.Pdl.....	128
Εικόνα 151: Λειτουργία μετάβασης Button Alarms - εικόνα Start.Pdl.....	128
Εικόνα 152: Ρολόι εφαρμογής - εικόνα Start.Pdl.....	128
Εικόνα 153: Ενδείξεις λειτουργίας - εικόνα Machine.Pdl	129
Εικόνα 154: Αυτόματη λειτουργία μηχανή 73 - εικόνα Machine.Pdl.....	129
Εικόνα 155: Σύνδεση μεταβλητής FullAutomaticOper1 με την ιδιότητα - εικόνα Machine.Pdl	130
Εικόνα 156: Αναζήτηση της μεταβλητής FullAutomaticOper1 - εικόνα Machine.Pdl	130
Εικόνα 157: Picture Window 1- εικόνα Machines.Pdl	130
Εικόνα 158: Διαμόρφωση button Krauss Maffei C2 - εικόνα Machines.Pdl.....	131
Εικόνα 159: Σύνδεση εικόνας Krausse_Times.Pdl με το αντικείμενο Picture Window1 - εικόνα Machines.Pdl	131
Εικόνα 160: Button APXIKH - εικόνα Machines.Pdl	132
Εικόνα 161: Κώδικας του button APXIKH - εικόνα Machines.Pdl	132

Εικόνα 162: Διαμόρφωση αντικειμένου I/O Field - εικόνα Krauss_Times.Pdl	133
Εικόνα 163: Σύνδεση μεταβλητής με το αντικείμενο I/O Field - εικόνα Krauss_Times.Pdl..	133
Εικόνα 164: Επιλογή μεταβλητής MachineCycleTime1 - εικόνα Krauss_Times.Pdl	133
Εικόνα 165: Button Κύκλος Μηχανής – εικόνα Krauss_Times.Pdl.....	134
Εικόνα 166: Κώδικας για το button Κύκλος Μηχανής – εικόνα Krauss_Times.Pdl	134
Εικόνα 167 Επιλογή αντικειμένου Pump – εικόνα Pumps.Pdl.....	135
Εικόνα 168: Δυναμική αλλαγή της ιδιότητας Fore Color του αντικειμένου Pump1 – εικόνα Pumps.Pdl.....	135
Εικόνα 169: Σύνδεση της μεταβλητής leitourgia1 με την ιδιότητα Fore Color – εικόνα Pumps.Pdl.....	136
Εικόνα 170: Επιλογή της μεταβλητής leitourgia1 – εικόνα Pumps.Pdl.....	136
Εικόνα 171 Δυναμική αλλαγή της ιδιότητας Background Color του αντικειμένου Circle1 – εικόνα Pumps.Pdl	136
Εικόνα 172: Σύνδεση της μεταβλητής vlahh1 με την ιδιότητα Background Color – εικόνα Pumps.Pdl.....	137
Εικόνα 173: Επιλογή της μεταβλητής vlahh1 – εικόνα Pumps.Pdl	137
Εικόνα 174: Επιλογή αντικειμένου Polygon Tube – εικόνα Pumps.Pdl	137
Εικόνα 175: Button START για το τρίδυμο σύστημα – εικόνα Pumps.Pdl	138
Εικόνα 176: Καθορισμός της ενέργειας Press Left – Pumps.Pdl.....	138
Εικόνα 177: Επιλογή μεταβλητής start1 (Press Left) – Pumps.Pdl	138
Εικόνα 178: Καθορισμός της ενέργειας Release Left – Pumps.Pdl.....	139
Εικόνα 179: Επιλογή μεταβλητής start1 (Release Left) – Pumps.Pdl.....	139
Εικόνα 180: Button STOP για το τρίδυμο σύστημα – εικόνα Pumps.Pdl.....	139
Εικόνα 181: Καθορισμός της ενέργειας Press Left του button STOP – Pumps.Pdl.....	139
Εικόνα 182: Καθορισμός της ενέργειας Release Left του button STOP – Pumps.Pdl.....	139
Εικόνα 183: Δημιουργία Text List – Pumps.Pdl.....	140
Εικόνα 184: Σύνδεση της μεταβλητής leitourgiaTriP με την έξοδο του Test List1 – Pumps.Pdl	141
Εικόνα 185: Επιλογή της μεταβλητής leitourgiaTriP – Pumps.Pdl	141
Εικόνα 186: Δημιουργία I/O Field για την πίεση του αέρα – Air-Vacuum.Pdl.....	142
Εικόνα 187 Διαμόρφωση I/O Field (αέρα) – Air-Vacuum.Pdl	142
Εικόνα 188: Σύνδεση της μεταβλητής PieshAera με το I/O Field (αέρα) – Air-Vacuum.Pdl.	142
Εικόνα 189: Δημιουργία I/O Field για την μέτρηση του κενού – Air-Vacuum.Pdl.....	142
Εικόνα 190: Διαμόρφωση I/O Field (κενού) – Air-Vacuum.Pdl.....	143
Εικόνα 191: Διαμόρφωση αντικειμένου Bar1 (αέρας) – Air-Vacuum.Pdl	144
Εικόνα 192: Σύνδεση αντικειμένου Bar1 με τη μεταβλητή PieshAera (αέρας) – Air-Vacuum.Pdl.....	144
Εικόνα 193: Αναζήτηση μεταβλητής PieshAera από το Ext_Group3 – Air-Vacuum.Pdl	144
Εικόνα 194: Διαμόρφωση WL αντικειμένου Bar1 (αέρας) – Air-Vacuum.Pdl	145
Εικόνα 195: Σύνδεση WL με τη μεταβλητή LowLimitAirPressure – Air-Vacuum.Pdl.....	145
Εικόνα 196: Αναζήτηση της μεταβλητής LowLimitAirPressure – Air-Vacuum.Pdl.....	145
Εικόνα 197: Διαμόρφωση WH αντικειμένου Bar1 (αέρας) – Air-Vacuum.Pdl.....	146
Εικόνα 198: Σύνδεση WH με τη μεταβλητή HighLimitAirPressure – Air-Vacuum.Pdl	146
Εικόνα 199: Αναζήτηση της μεταβλητής HighLimitAirPressure – Air-Vacuum.Pdl.....	146
Εικόνα 200: Διαμόρφωση αντικειμένου Bar2 (κενό) – Air-Vacuum.Pdl.....	147

Εικόνα 201: Σύνδεση αντικειμένου Bar2 με τη μεταβλητή PieshKenou (κενό) – Air-Vacuum.Pdl.....	147
Εικόνα 202: Διαμόρφωση WL αντικειμένου Bar2 (κενό) – Air-Vacuum.Pdl.....	147
Εικόνα 203: Διαμόρφωση WH αντικειμένου Bar2 (κενό) – Air-Vacuum.Pdl.....	147
Εικόνα 204: Διαμόρφωση του I/O Field για το άνω όριο του αέρα – Air-Vacuum.Pdl.....	148
Εικόνα 205: Σύνδεση της μεταβλητής HighLimitAirPressure με το άνω όριο του αέρα – Air-Vacuum.Pdl.....	148
Εικόνα 206: Διαμόρφωση του I/O Field για το κάτω όριο του αέρα – Air-Vacuum.Pdl.....	148
Εικόνα 207: Σύνδεση της μεταβλητής LowLimitAirPressure με το κάτω όριο του αέρα – Air-Vacuum.Pdl.....	148
Εικόνα 208: Διαμόρφωση του I/O Field για το άνω όριο του κενού – Air-Vacuum.Pdl.....	149
Εικόνα 209: Διαμόρφωση του I/O Field για το κάτω όριο του κενού – Air-Vacuum.Pdl.....	149
Εικόνα 210: Διαμόρφωση της ιδιότητας Fore Color για τον αεροσυμπιεστή S60-2 – Air-Vacuum.Pdl.....	150
Εικόνα 211: Σύνδεση της μεταβλητής leitourgiaS60-2 με την ιδιότητας Fore Color (S60-2) – Air-Vacuum.Pdl.....	150
Εικόνα 212: Αναζήτηση της μεταβλητής leitourgiaS60-2 – Air-Vacuum.Pdl.....	150
Εικόνα 213: Picture Window για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του S60-2 – Air-Vacuum.Pdl.....	151
Εικόνα 214: Καθορισμός ενέργειας για την επιλογή του S60-2 – Air-Vacuum.Pdl.....	151
Εικόνα 215: Σύνδεση της εικόνας του πεδίου Source με το αντικείμενο Picture Window1 – Air-Vacuum.Pdl.....	152
Εικόνα 216: Δημιουργία START button – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	153
Εικόνα 217: Ορισμός της ενέργειας Press Left – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	153
Εικόνα 218: Αναζήτηση της μεταβλητής StartS60-2 – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	153
Εικόνα 219: Ορισμός της ενέργειας Release Left – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	153
Εικόνα 220: Δημιουργία STOP button και ορισμός της ενέργειας Press Left – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	154
Εικόνα 221: STOP button και ορισμός της ενέργειας Release Left – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	154
Εικόνα 222: Διαμόρφωση των πεδίων του αντικειμένου Text List – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	155
Εικόνα 223: Σύνδεση μεταβλητής oEnableS60-2 με το πεδίο Output Value (Text List) – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	155
Εικόνα 224: Αναζήτηση της μεταβλητής oEnableS60-2 – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	155
Εικόνα 225: Δημιουργία αντικειμένου Circle – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	156
Εικόνα 226: Σύνδεση μεταβλητής vlahS60-2 με το πεδίο Background Color – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	156
Εικόνα 227: Αναζήτηση της μεταβλητής vlahS60-2 – Air_Compressor_S60-2.Pdl.....	156
Εικόνα 228: Εκκίνηση του βοηθητικού προγράμματος Tag logging.....	157
Εικόνα 229: Επιλογή τύπου Timer - Tag logging.....	157
Εικόνα 230: Καθορισμός των ιδιοτήτων του Machine_Cycle1_Timer - Tag logging.....	158
Εικόνα 231: Καθορισμός των ιδιοτήτων του Machine_Cycle2_Timer - Tag logging.....	158
Εικόνα 232: Δημιουργία Process Value Archives - Tag logging.....	159
Εικόνα 233: Διαμόρφωση Machine_Cycle1_Archive - Tag logging.....	160

Εικόνα 234: Καθορισμός του χώρου αποθήκευσης Machine_Cycle1_Archive - Tag logging	160
Εικόνα 235: Διαμόρφωση Machine_Cycle2_Archive - Tag logging	161
Εικόνα 236: Εισαγωγή του στοιχείου - WinCC Online Trend Control	162
Εικόνα 237: Διαμόρφωση καρτέλας General - WinCC Online Trend Control	162
Εικόνα 238: Διαμόρφωση καρτέλας Time Axes - WinCC Online Trend Control	162
Εικόνα 239: Διαμόρφωση καρτέλας Value Axes - WinCC Online Trend Control	163
Εικόνα 240: Διαμόρφωση καρτέλας Trends - WinCC Online Trend Control.....	163
Εικόνα 241: Αναζήτηση αρχείου Machine_Cycle1_Archive - WinCC Online Trend Control.	164
Εικόνα 242: Επιλογή archive tag Machine_Cycle_Time_1 - WinCC Online Trend Control...	164
Εικόνα 243: Εισαγωγή του στοιχείου - WinCC Online Table Control.....	164
Εικόνα 244: Διαμόρφωση καρτέλας General - WinCC Online Table Control.....	165
Εικόνα 245: Διαμόρφωση καρτέλας Parameter - WinCC Online Table Control	165
Εικόνα 246: Διαμόρφωση καρτέλας Time Columns - WinCC Online Table Control	165
Εικόνα 247: Διαμόρφωση καρτέλας Value Columns - WinCC Online Table Control	166
Εικόνα 248: Αναζήτηση αρχείου Machine_Cycle1_Archive - WinCC Online Table Control .	166
Εικόνα 249: Επιλογή archive tag Machine_Cycle_Time_1 - WinCC Online Table Control....	166
Εικόνα 250: Διαμόρφωση button «Πίσω» - Machine_Cycle1_Logging.Pdl	166
Εικόνα 251: Κώδικας λειτουργίας button «Πίσω» - Machine_Cycle1_Logging.Pdl.....	167
Εικόνα 252: Εκκίνηση του βοηθητικού προγράμματος Alarm logging.....	168
Εικόνα 253: Επιλογή System blocks - Alarm logging	168
Εικόνα 254: Διαμόρφωση πεδίου Message text - Alarm logging	169
Εικόνα 255: Διαμόρφωση πεδίου Point of error - Alarm logging	169
Εικόνα 256: Μεταβλητή αποθήκευσης καταστάσεων alarm - Alarm logging	169
Εικόνα 257: Δημιουργία message bits - Alarm logging.....	170
Εικόνα 258: Ορισμός ιδιοτήτων Message bit 0 - Alarm logging	170
Εικόνα 259: Ορισμός ιδιοτήτων Message bit 1 - Alarm logging	171
Εικόνα 260: Ορισμός ιδιοτήτων Message bit 2 - Alarm logging	171
Εικόνα 261 Ορισμός ιδιοτήτων Message bit 3 - Alarm logging.....	171
Εικόνα 262: Ορισμός ιδιοτήτων Message bit 4 - Alarm logging	172
Εικόνα 263: Ορισμός ιδιοτήτων Message bit 5 - Alarm logging	172
Εικόνα 264: Καθορισμός ιδιοτήτων χρωμάτων των παραγόμενων μηνυμάτων - Alarm logging	173
Εικόνα 265: Δημιουργία εικόνας Alarm_logging.Pdl	173
Εικόνα 266: Εισαγωγή αντικειμένου WinCC Alarm Control	174
Εικόνα 267: Διαμόρφωση καρτέλας General - WinCC Alarm Control	174
Εικόνα 268: Διαμόρφωση καρτέλας Message Blocks - WinCC Alarm Control.....	174
Εικόνα 269: Διαμόρφωση καρτέλας Message Lists - WinCC Alarm Control.....	175
Εικόνα 270: Το πρόγραμμα Graphic Designer με όλες τις εικόνες που δημιουργήθηκαν...	175
Εικόνα 271: Εγκατάσταση Profinet remote I/O	177
Εικόνα 272: Πρώτα στάδια κατασκευής του πίνακα αυτοματισμού.....	178
Εικόνα 273: Ολοκλήρωση εσωτερικής καλωδίωσης του πίνακα αυτοματισμού.....	178
Εικόνα 274: Τοποθέτηση του πίνακα αυτοματισμού του συστήματος SCADA.....	178
Εικόνα 275: Ολοκλήρωση του πίνακα αυτοματισμού του συστήματος SCADA.....	178
Εικόνα 276: Αρχική εικόνα εφαρμογής – Start.Pdl	179
Εικόνα 277: Εικόνα παρακολούθησης των 2 IMM – Machines.Pdl	180

Εικόνα 278: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής MachineCycle1 – Machine_Cycle1_Logging.Pdl.....	181
Εικόνα 279: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής Injection/BPieshTime – Injection_Time1_Logging.Pdl	181
Εικόνα 280: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής CoolingTime1 – Cooling_Time1_Logging.Pdl	182
Εικόνα 281: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής PlasticisingTime1 – Plasticising_Time1_Logging.Pdl.....	182
Εικόνα 282: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής MachineCycleTime2 – Machine_Cycle2_Logging.Pdl.....	183
Εικόνα 283: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής InjectionTime2 – Injection_Time2_Logging.Pdl	183
Εικόνα 284: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής BpieshTime2 – Bpiesh_Time2_Logging.Pdl	184
Εικόνα 285: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής CoolingTime2 – Cooling_Time2_Logging.Pdl	184
Εικόνα 286: Εικόνα παρακολούθησης και ελέγχου των συστημάτων κυκλοφορίας νερού – Pumps.Pdl.....	185
Εικόνα 287: Εικόνα παρακολούθησης και ελέγχου του κεντρικού δικτύου αέρα και κενού 1/2 – Air_Vacuum.Pdl.....	186
Εικόνα 288: Εικόνα παρακολούθησης και ελέγχου του κεντρικού δικτύου αέρα και κενού 2/2 – Air_Vacuum.Pdl.....	187
Εικόνα 289: Απεικόνιση μηνυμάτων Alarm – Alarm_Logging.Pdl	187
Εικόνα 290: Αρχική εικόνα εφαρμογής με την παρουσίαση κατάστασης alarm– Start.Pdl	188

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Κύριες παράμετροι της διεργασίας IM.....	33
Πίνακας 2: Frame Modbus RTU.....	53

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

1.1 Σκοπός εργασίας

Η μέθοδος της χύτευσης πλαστικού με έγχυση υπό πίεση (Injection Molding - IM) αποτελεί την πλέον διαδεδομένη διαδικασία παραγωγής πλαστικών προϊόντων. Ιδιαίτερα η χρήση της συγκεκριμένης μεθόδου για την παραγωγή πλαστικών δοχείων αποθήκευσης τροφίμων απαντάται σε ευρεία κλίμακα σε όλο τον κόσμο.

Η συγκεκριμένη μεταπτυχιακή εργασία μελετά τις διεργασίες της βιομηχανικής μονάδας ΠΛΑΣΤΙΚΑ Κ.ΚΟΤΡΩΝΗΣ ΑΒΕΕ, η οποία ασχολείται με την παραγωγή πλαστικών προϊόντων για την αποθήκευση τροφίμων. Τα προϊόντα της εταιρίας περιλαμβάνουν δοχεία, κύπελλα, πιάτα, καπάκια κλπ είδη στα οποία συσκευάζονται τρόφιμα.

Ειδικότερα στην παρούσα εργασία γίνεται μελέτη των 50 μηχανών χύτευσης πλαστικού με έγχυση (Injection Molding Machines - IMM), των αντλιών που χρησιμοποιούνται για την κυκλοφορία του νερού στο σύστημα ψύξης και του κεντρικού δικτύου πεπιεσμένου αέρα.

Η εργασία στοχεύει στη δημιουργία ενός πιλοτικού συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου των βασικών παραμέτρων των παρακάτω συστημάτων:

- Μηχανών IMM που διαθέτουν κάποιο πρωτόκολλο επικοινωνίας με τους ρομποτικούς μηχανισμούς εξυπηρέτησης τους.
- Του συστήματος αντλιών κυκλοφορίας νερού το οποίο χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο στην παραγωγική διαδικασία από τις IMM.
- Του κεντρικού δικτύου παροχής πεπιεσμένου αέρα και δημιουργίας κενού αλλά και του εξοπλισμού που το υποστηρίζει.

Το σύστημα που αναπτύχθηκε βασίζεται σε PLC και επικοινωνεί με τον χρήστη βάσει εφαρμογής HMI. Το πρόγραμμα του PLC καθώς και η εφαρμογή HMI σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας. Δεδομένης της πιλοτικής φύσης του συστήματος το εν λόγω σύστημα σχεδιάστηκε ώστε να είναι εύκολα παραμετροποιήσιμο και επεκτάσιμο.

Η παρακολούθηση της κατάστασης του εξοπλισμού και της πορείας της παραγωγικής διαδικασίας αποτελεί το πρώτο βήμα για τη διάγνωση προβλημάτων, τη βελτίωση της λειτουργίας και τον προγραμματισμό των εργασιών μίας σύγχρονης βιομηχανικής μονάδας.

1.2 Δομή εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αποτελείται από εννέα κεφάλαια τα οποία αποτελούν ξεχωριστές θεματικές ενότητες. Τα πρώτα τέσσερα παρέχουν στον αναγνώστη το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο για την κατανόηση βασικών εννοιών της διεργασίας IM και των συστημάτων SCADA ώστε να γίνει ευκολότερα αντιληπτή η συνέχεια. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση του εξοπλισμού που εντάχθηκε στο σύστημα και των υλικών που επιλέχθηκαν, ενώ τα επόμενα κεφάλαια αποτελούν τον πυρήνα της εργασίας με την ανάπτυξη του προγράμματος στο PLC και τη δημιουργία της εφαρμογής HMI. Αναλυτικότερα:

- Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί το εισαγωγικό κεφάλαιο στο οποίο παρουσιάζονται οι στόχοι της μεταπτυχιακής εργασίας.
- Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στη βιομηχανία κατασκευής πλαστικών σκευασμάτων για τρόφιμα και στην πορεία εξέλιξης της στο χρόνο.
- Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύεται η διεργασία IM και παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία των IMM.
- Στο κεφάλαιο υπ' αριθμό τέσσερα παρουσιάζεται η δομή και η λειτουργία των συστημάτων SCADA.
- Το πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζει τον τρόπο που σχεδιάστηκε το σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου καθώς και την επιλογή των υλικών για την κατασκευή του.
- Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται στην ανάπτυξη του προγράμματος του κεντρικού PLC του συστήματος με τη χρήση του λογισμικού TIA portal.
- Στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζεται η δημιουργία της εφαρμογής HMI με τη βοήθεια του πακέτου SIMATIC WinCC.
- Το όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζει μέσα από ένα σύνολο εικόνων την λειτουργία του συστήματος SCADA που αναπτύχθηκε.
- Το ένατο κεφάλαιο περιλαμβάνει τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη δημιουργία του συστήματος, καθώς και προτάσεις για εκμετάλλευση των δεδομένων που συλλέγονται και πιθανή βελτίωση του.

Κεφάλαιο 2 - Η βιομηχανία πλαστικών και η εξέλιξη της

Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί μία γενική εισαγωγή στην βιομηχανία των πλαστικών δοχείων αποθήκευσης και στον τρόπο με τον οποίο αυτή λειτουργεί. Αρχικά αναδεικνύεται η ανάγκη που οδήγησε την ανθρωπότητα στην κατασκευή και υιοθέτηση αυτών των σκευασμάτων καθώς και η πορεία εξέλιξης τους. Εν συνεχεία παρουσιάζεται περιληπτικά η κύρια μέθοδος κατασκευής πλαστικών δοχείων για αποθήκευση τροφίμων ενώ επίσης γίνεται μια σύντομη ιστορική αναφορά στα στάδια από τα οποία πέρασε για να εξελιχθεί. Επιπλέον στο παρόν κεφάλαιο αναφέρονται οι κατηγορίες των υλικών που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την κατασκευή πλαστικών δίνοντας έμφαση στις ιδιότητες της εκάστοτε κατηγορίας. Το κεφάλαιο αυτό κλείνει με μια σύντομη περιγραφή συστημάτων που υποστηρίζουν τη διαδικασία παραγωγής πλαστικών προϊόντων.

2.1 Η ιστορία των πλαστικών δοχείων αποθήκευσης

Η ανάγκη των ανθρώπων για ασφαλή αποθήκευση, προστασία και μεταφορά τροφίμων προέκυψε από την προϊστορική εποχή. Από πολύ νωρίς οι αρχαίοι πολιτισμοί κατανόησαν ότι συνθήκες όπως η υγρασία και η ζέση μειώνουν την διάρκεια ζωής των τροφίμων στις περισσότερες περιπτώσεις. Μάλιστα όπως είναι γνωστό από αρχαία κείμενα ήδη από την αρχαιότητα σε πρώιμους πολιτισμούς οι άνθρωποι φρόντιζαν να αποθηκεύουν πολύτιμα σιτηρά όπως ο αραβόσιτος, το σιτάρι, το κριθάρι και άλλου είδους δημητριακά σε μεγάλα ευάερα κτίρια και αποθήκες. Σε αυτά τα κτήρια επικρατούσε ξηρό κλίμα, χαμηλή θερμοκρασία και χαμηλά επίπεδα υγρασίας ενώ συχνά τα τρόφιμα βρισκόνταν σε κάποια απόσταση από το έδαφος. Με σκοπό να φυλάσσονται και να διατηρούνται όσο το δυνατόν ανεπηρέαστα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Μικρότερες ποσότητες τροφίμων αποθηκεύονταν σε καλάθια κατασκευασμένα από καλάμια και σε πήλινα ή γυάλινα δοχεία τα οποία διατηρούσαν σε μια σχετικά καλή κατάσταση αρκετά είδη τροφίμων για μικρό χρονικό διάστημα. Μάλιστα πολλά από αυτού του είδους τα σκεύασμα διατηρήθηκαν μέχρι και την πιο σύγχρονη εποχή.

Η πρώτη εμφάνιση των πλαστικών στην ιστορία έγινε το έτος 1856 όταν ο Alexander Parkes κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το πρώτο πλαστικό πολυμερές υλικό στο Μπέρμιγχαμ της Αγγλίας. Παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1862 στη μεγάλη διεθνή έκθεση του Λονδίνου, και αποτελούσε μία πρώιμη μορφή πλαστικού παραγόμενου από κυτταρίνη. Δεκατρία χρόνια αργότερα εμφανίστηκαν τα πλαστικά μπουκάλια, ενώ στις αρχές του 20^{ου} αιώνα εμφανίστηκαν τα πρώτα πλήρως συνθετικά πλαστικά μπουκάλια. Τα πλαστικά αυτά σκεύασμα εμφανίστηκαν ως εναλλακτική στα αντίστοιχα γυάλινα και κεραμικά που χρησιμοποιούνταν από την αρχαιότητα. Ωστόσο αυτή η τεχνολογική εξέλιξη δεν είχε τον επιθυμητό οικονομικό αντίκτυπο λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής. Κατά συνέπεια, η πλαστική

συσκευασία άρχισε να αναπτύσσεται πραγματικά από τα μέσα του 20^{ου} αιώνα και έπειτα.

Το 1946, ο Earl Tupper πρωτοστάτησε στη χρήση δοχείων για αποθήκευση τροφίμων φτιαγμένα από πολυαιθυλένιο τα οποία σήμερα είναι ευρέως γνωστά ως Tupperware®. Αυτές οι αεροστεγείς εφευρέσεις αποδείχθηκαν αρκετά βολικές και δημοφιλείς μεταξύ των αμερικανικών νοικοκυρών και σηματοδότησαν ένα σημαντικό ορόσημο στην ιστορία των πλαστικών συσκευασιών [1].

Σήμερα τον 21ο αιώνα, τα πλαστικά δοχεία παραμένουν ακόμη τόσο δημοφιλή όσο ποτέ, ωστόσο έχουν γίνει προσπάθειες για την επιστροφή σε πλαστικές συσκευασίες βιολογικής προέλευσης. Ένα παράδειγμα είναι η εισαγωγή πολυγαλακτικού οξέος (PLA), ενός πλαστικού με βάση το άμυλο καλαμποκιού που χρησιμοποιείται για δοχεία.



Εικόνα 1: Κατηγορίες προϊόντων της βιομηχανίας ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΟΤΡΩΝΗΣ ΑΒΕΕ

2.2 Διαδικασίες παραγωγής πλαστικών δοχείων

Η πιο δημοφιλής διεργασία για την παραγωγή πλαστικών προϊόντων και εξαρτημάτων είναι η χύτευση με έγχυση υπό πίεση (**Injection Molding - IM**). Αποτελεί την κύρια διαδικασία σχηματισμού πλαστικών μερών που χρησιμοποιεί σαν πρώτη ύλη θερμοπλαστικά υλικά τα οποία σε αντίθεση με τα τετηγμένα μέταλλα έχουν υψηλό συντελεστή ιξώδους¹ και δεν είναι εύκολο να εγχυθούν σε στη κοιλότητα ενός καλουπιού.

Η διαδικασία ξεκινάει με το υλικό που έρχεται σε μορφή κόκκων και περιλαμβάνει την εισαγωγή τους σε ένα μέρος μιας μηχανή ονομάζεται "χοάνη". Εκείνη τη στιγμή ένας μεγάλος περιστρεφόμενος κοχλίας προωθεί την πρώτη ύλη σε ένα θερμαινόμενο κύλινδρο. Μόλις οι κόκκοι περάσουν μέσα στον κύλινδρο, η θερμοκρασία τους

¹ Το μέτρο της αντίστασης που προβάλλει ένα υγρό κατά τη ροή του

αυξάνεται όπως επίσης και το ιξώδες των κοκκών αυξάνεται σε τέτοιο σημείο όπου μπορούν να προστεθούν βαφές ή άλλοι χημικοί παράγοντες για να αλλάξουν την τελική εμφάνιση και επιφάνεια του τελικού προϊόντος. Στο σημείο αυτό, το υλικό συγκεντρώνεται στο μπροστινό μέρος του κοχλίας ο οποίος έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να συγκεντρώνει ακριβώς το απαραίτητο υλικό για να γεμίσει το καλούπι.

Στη συνέχεια ο κοχλίας μέσω μίας παλινδρομικής κίνησης εισάγει το τετηγμένο πλαστικό υλικό μέσα στο καλούπι έγχυσης μέχρις ότου αυτό γεμίσει πλήρως με πλαστικό υλικό. Τα περισσότερα καλούπια επιτρέπουν στις φυσαλίδες αέρα να διαφύγουν για να αποφευχθεί η βλάβη του τελικού προϊόντος.

Στο επόμενο βήμα η διαδικασία IM περνάει στο στάδιο της ψύξης όπου ο κοχλίας ανασύρεται για να συλλέξει υλικό για τον επόμενο κύκλο. Η ψύξη υποβοηθείται από κανάλια στα οποία κυκλοφορεί νερό ή άλλοι τύποι ψυκτικού μέσου και τα οποία διακλαδώνονται κατά μήκος του πάχους του τοιχώματος του καλουπιού. Τέλος, εξολκείς οι οποίοι εδράζονται στο κινητό μέρος του καλουπιού χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή του τελικού προϊόντος από το καλούπι. Η όλη διαδικασία μπορεί να διαρκέσει από λίγα δευτερόλεπτα μέχρι μερικά λεπτά για να παραχθεί ένα πλήρες πλαστικό τμήμα.

Εξαιτίας αυτού του γεγονότος η χύτευση με έγχυση αποτελεί την καλύτερη μέθοδος για την παράγωγή μεγάλων ποσοτήτων του ιδίου πλαστικού προϊόντος και χρησιμοποιείται από τους περισσότερους κατασκευαστές. Η μέθοδος IM έχει ιδιαίτερη αξία για κατασκευαστές που επιθυμούν να παράγουν τελικά προϊόντα με χαμηλές μηχανικές αντοχές καθώς επίσης και εξαιρετικά χαμηλούς ρυθμούς ελαττωματικών προϊόντων ανά εκατομμύριο τεμαχίων.

Η μέθοδος IM χρησιμοποιείται κυρίως για τη δημιουργία εξαρτημάτων που θα ήταν πολύ δύσκολο να κατασκευαστούν με το χέρι. Τα καλούπια τα οποία χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των τελικών πλαστικών προϊόντων μπορούν να παράξουν προϊόντα με πολύ περίπλοκα σχήματα. Το καλούπι που χρησιμοποιείται σχεδιάζεται με τη βοήθεια λογισμικού 3D μοντελοποίησης.

Λόγω του χαμηλού κόστους και της αποτελεσματικότητας της διαδικασίας χύτευσης με έγχυση (IM) η συγκεκριμένη διαδικασία χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών όπως εξαρτήματα αυτοκινήτων, μουσικά όργανα, έπιπλα, δοχεία αποθήκευσης τροφίμων πολλά άλλα. Η διεργασία IM χρησιμοποιείται για την παραγωγή αγαθών που χρησιμοποιούνται σχεδόν σε κάθε πτυχή της καθημερινής μας ζωής.

Επιπλέον μία παρόμοια τεχνική για την κατασκευή πλαστικών δοχείων είναι η χύτευση με εμφύσηση (blow molding). Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο διαδικασιών έγκειται στο γεγονός ότι η χύτευση με εμφύσηση χρησιμοποιεί πεπιεσμένο αέρα προκειμένου το τελικό προϊόν να αποκτήσει το συγκεκριμένο σχήμα του καλουπιού. Η χύτευση με εμφύσηση προτιμάται συνήθως για υψηλότερο βαθμό ομοιομορφίας (π.χ. κατά την κατασκευή φιαλών).

2.3 Η εξέλιξη της διεργασίας IM

Η διαδικασία χύτευσης με έγχυση πρωτοεμφανίστηκε το 1872 από τον John Wesley Hyatt και τον αδερφό του Isaiah. Ο αρχικός σχεδιασμός τους ήταν εξαιρετικά πρωτόγονος σε σύγκριση με τις τρέχουσες μηχανές που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία χύτευσης με έγχυση. Η αρχική μηχανή τους λειτουργούσε με παρόμοια αρχή λειτουργίας με αυτή μιας μεγάλης σύριγγας, δηλαδή χρησιμοποιούσε ένα έμβολο για να σπρώξει το πλαστικό μέσω ενός θερμαινόμενου κυλίνδρου σε ένα καλούπι χάλυβα το οποίο είχε κατασκευαστεί στο χέρι.

Η αρχική διαδικασία χύτευσης με έγχυση δεν ήταν ικανή να παράγει περίπλοκα ή τόσο μεγάλα προϊόντα όσο αυτά που παράγονται από τα σημερινά μηχανήματα. Οι πρώτες χρήσεις της διαδικασίας περιλάμβαναν την παραγωγή κουμπιών, χτενών και κολάρων.

Η βιομηχανία θα προχωρήσει πολύ αργά τα επόμενα χρόνια μετά το 1872. Το 1903, ο κλάδος θα δει περαιτέρω πρόοδο από τους Γερμανούς χημικούς Arthur Eichengrun και Theodore Becker, οι οποίοι θα εφεύρουν τις πρώτες διαλυτές μορφές οξικής κυτταρίνης το 1903. Αυτή η εξέλιξη ήταν σημαντική λόγω του γεγονότος ότι η οξική κυτταρίνη είναι πολύ λιγότερο εύφλεκτη από τη νιτρική κυτταρίνη, η οποία είχε χρησιμοποιηθεί προηγουμένως [\[2\]](#).

Αυτή η πρόοδος θα οδηγήσει την οξική κυτταρίνη να είναι διαθέσιμη σε μορφή σκόνης, η οποία θα έκανε πολύ πιο εύκολη τη μεταφορά και τη διανομή της στους κατασκευαστές. Το 1919, ο Arthur Eichengrun θα προχωρήσει στην κατοχύρωση με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας της διαδικασίας IM η οποία αποτέλεσε τη βάση για την πρώτη σύγχρονη μηχανή χύτευσης με έγχυση.

Η βιομηχανία θα δει περαιτέρω ανάπτυξη χάρη στον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο, ο οποίος δημιούργησε τεράστια ζήτηση για μαζικά προϊόντα σε εξαιρετικά χαμηλές τιμές. Ο James Watson Hendry, ένας Αμερικανός εφευρέτης, δημιούργησε την πρώτη μηχανή έγχυσης με κοχλία το 1946. Αυτή η μηχανή ήταν ζωτικής σημασίας λόγω του γεγονότος ότι επέτρεψε μεγάλη ακρίβεια όσον αφορά το ρυθμό έγχυσης. Αυτό με τη σειρά του επηρέασε την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων μειώνοντας έτσι το συνολικό ποσοστό σφαλμάτων.

Μια άλλη σημαντική πτυχή που εισήγαγε η μηχανή έγχυσης με κοχλία στη διαδικασία είναι ότι επέτρεψε την ανάμιξη της πρώτης ύλης πριν από την έγχυση. Αυτό θα αποδειχθεί εξαιρετικά σημαντικό καθώς επέτρεψε την ανάμιξη του χρωματισμένου και ανακυκλωμένου πλαστικού με το τετηγμένο πλαστικό και την ανάμιξή του με ομοιογενή σύσταση προτού εγχυθεί μέσα στο καλούπι.

2.4 Η πρώτη ύλη

Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή πλαστικών προϊόντων αποτελεί ένα κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχία της διεργασίας IM. Ένα ευρύ φάσμα υλικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πλαστικών δοχείων το οποίο ποικίλει ανάλογα με το τελικό επιθυμητό προϊόν για το οποίο προορίζεται. Από το 1995, ο αριθμός των διαθέσιμων για παραγωγή πλαστικών ειδών έχει αυξηθεί με ένα ρυθμό 750 ετησίως. Πριν από το 1995 υπήρχαν περίπου 18.000 υλικά διαθέσιμα όταν άρχισε αυτή η τάση [2].

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την διαδικασία IM χωρίζονται σε 3 κύριες κατηγορίες: α) στα **θερμοπλαστικά (thermoplastics)**, β) στα **θερμοσκληρυνόμενα (thermoset)** και στα γ) **ελαστομερή (elastomers)**. Οι μηχανικοί επιστήμης υλικών συνήθως υπολογίζουν με λεπτομέρεια τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε τύπου πριν αποφασίσουν για το κατάλληλο υλικό ανάλογα με την εκάστοτε διαδικασία που καλούνται να υλοποιήσουν. Διάφορες παράμετροι όπως η μηχανική αντοχή, η χημική σύνθεση και ο κύκλος ζωής του υλικού λαμβάνονται υπόψη.

Μερικά γνωστά παραδείγματα υλικών που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία IM είναι το νάιλον, το πολυαιθυλένιο, ο πολυεστέρας και η φαινόλη.

Εδώ θα πρέπει να τονίσουμε ότι οι παραγωγοί πλαστικών που χρησιμοποιούν την μέθοδο IM δεν περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό από κατασκευαστικούς περιορισμούς των υλικών που επιλέγουν αλλά είναι σε θέση να παράγουν μια ευρεία γκάμα από προϊόντα ανάλογα με το επιθυμητό σχήμα και μέγεθος. Εάν μπορεί να κατασκευαστεί ένα καλούπι για ένα προϊόν τότε μπορεί να ξεκινήσει να παράγεται και αυτό το προϊόν. Τα πάντα από τους προφυλακτήρες ενός αυτοκινήτου έως τον πιο περίπλοκο ιατρικό εξοπλισμό μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας την τεχνική της τήξης του κατάλληλου υλικού, της έγχυσης σε μια προκατασκευασμένη κοιλότητα όπως ένα καλούπι και της μετέπειτα πήξης του υλικού αυτού.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι τύποι πρώτης ύλης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία παραγωγής με την μέθοδο IM εμπίπτουν σε μία από τις τρεις κατηγορίες: στα θερμοπλαστικά, στα θερμοσκληρυνόμενα και στα ελαστομερή.

Τα **θερμοπλαστικά** είναι τα υλικά που όταν θερμαίνονται αποκτούν ρευστή μορφή ενώ όταν κρυσταλλώνουν στερεοποιούνται. Τα συγκεκριμένα υλικά όταν θερμαίνονται δεν υποβάλλονται σε χημική μεταβολή στη σύνθεσή τους και με τον τρόπο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην διεργασία IM ξανά και ξανά. Επιπλέον τείνουν να σχηματίζουν αλυσίδες πολυμερών υψηλού μοριακού βάρους που συνδέονται μέσω διαμοριακών δυνάμεων. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν εύκολα να θερμανθούν για να σχηματίσουν τετηγμένο πλαστικό υλικό χωρίς μεγάλα ποσά θερμότητας και αφού έχουν κρυσταλλώσει, εύκολα να διασπαστούν ξανά σε τετηγμένο πλαστικό υλικό εάν η διαδικασία χύτευσης χρειαστεί να επαναληφθεί λόγω σφάλματος ή κάποιου

ελαττώματος. Για το λόγο αυτό το κύριο πλεονέκτημα τους έναντι άλλων υλών που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία ΙΜ είναι η αποδοτικότητα στο κόστος. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα θερμοπλαστικά υλικά είναι πολυαιθυλένιο (PE), το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυστυρένιο (PS) και το PVC.

Αντίθετα, τα **θερμοσκληρυνόμενα** πολυμερή σχηματίζουν ένα μη αναστρέψιμο δίκτυο πολυμερών κατά την διαδικασία της μετατροπής από υγρή σε στερεή κατάσταση. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος τα θερμοσκληρυνόμενα υλικά δεν μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν αφού στερεοποιηθούν. Ωστόσο αυτό είναι και το πλεονέκτημα της χρήσης θερμοσκληρυνόμενων υλικών έναντι των θερμοπλαστικών ή των ελαστομερών, καθώς αυτό κάνει τα θερμοσκληρυνόμενα υλικά ανθεκτικά όταν έχουν ήδη πάρει την τελική τους μορφή.

Ένα **ελαστομερές** υλικό βρίσκεται σε μια κατάσταση που ονομάζεται ιξωδοελαστικότητα, που σημαίνει ότι είναι σε θέση να αλλάζει σχήμα πιο εύκολα από τα περισσότερα άλλα στερεά, αλλά εξακολουθεί να έχει σημαντική μηχανική αντοχή. Το καουτσούκ είναι το πιο γνωστό παράδειγμα ελαστομερούς.

Το πλεονέκτημα που έχουν τα ελαστομερή, όπως το νάιλον, έναντι των άλλων δύο τύπων υλικών είναι ότι τείνουν να είναι εξαιρετικά ευπροσάρμοστα στο αντικείμενο που θα εφαρμοστούν.

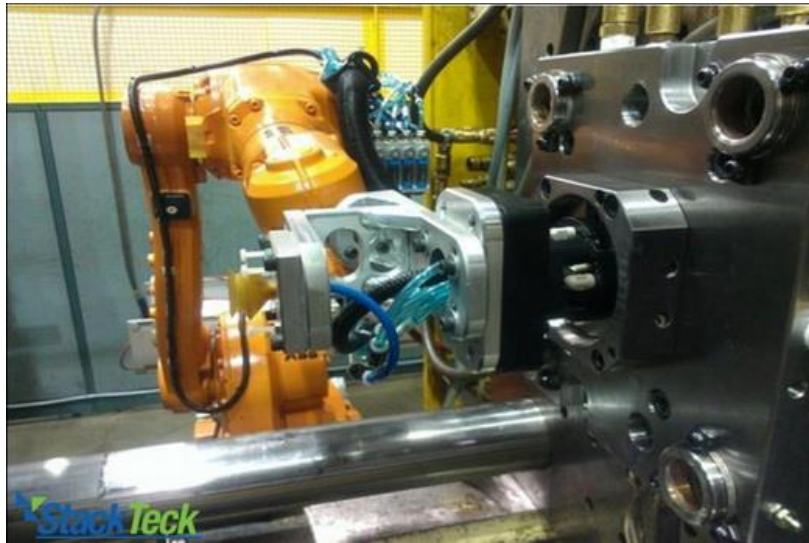


Εικόνα 2: Πολυπροπυλένιο (PP) σε κοκκώδη μορφή

2.5 Υποστήριξη της διεργασίας ΙΜ

Η όλη διαδικασία που περιγράψαμε παραπάνω για την παραγωγή πλαστικών δοχείων για αποθήκευση τροφίμων, προκειμένου να υλοποιηθεί χρειάζεται ένα σύστημα υποστήριξης το οποίο αποτελείται από μία σειρά από περιφερειακά συστήματα. Τέτοια συνήθως είναι συστήματα ψύξης και κυκλοφορίας νερού, καθώς και συστήματα παραγωγής πεπιεσμένου αέρα και κενού.

Επιπλέον η διαδικασία μπορεί να προσαρμοστεί/αυτοματοποιηθεί με διάφορους τρόπους. Μία από τις πιο δημοφιλείς επιλογές εργαλείων είναι η χρήση ρομποτικών συστημάτων χύτευσης. Σε αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιούνται μια σειρά μικρών ρομποτικών βραχιόνων και αισθητήρων που επιθεωρούν κάθε πλαστικό τελικό προϊόν για ελαττώματα ώστε να εξασφαλισθεί περαιτέρω ο υψηλός βαθμός ποιότητας. Επιπλέον ρομποτικοί βραχιόνες και ρομποτικά κύτταρα χρησιμοποιούνται συνήθως σε διαδικασίες IML² δημιουργώντας προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας. Οι κατασκευαστές πλαστικών ειδών που χρησιμοποιούν τη μέθοδο ΙΜ θα πρέπει να θεωρήσουν τα ρομπότ ως απαραίτητο συμπλήρωμα σε οποιαδήποτε εφαρμογή χύτευσης με έγχυση [3].



Εικόνα 3: Ρομποτικός βραχίονας κατά τη διαδικασία IML [4]

² είναι η χύτευση ετικετών θερμοπλαστικού υλικού (π.χ. polypropylene) στην επιφάνεια πλαστικών σκευασμάτων κατά τη διάρκεια κατασκευής τους με την μέθοδο Injection molding.

Κεφάλαιο 3 – Ανάλυση της διεργασίας IM και παρουσίαση μηχανών IMM

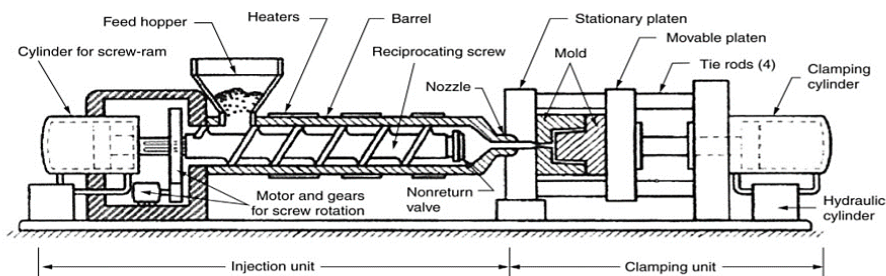
Το παρόν κεφάλαιο ξεκινά με μία σύντομη αναφορά στις μηχανές οι οποίες υλοποιούν την διεργασία IM, τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελούνται καθώς και τη λειτουργία που εκτελεί το κάθε στοιχείο της μηχανής ξεχωριστά. Στη συνέχεια αναλύεται η σχεδίαση του μηχανισμού του καλουπιού ο οποίος παράγει τα τελικά προϊόντα. Ακολούθως περιγράφεται η χρονική διαδικασία του κύκλου της διεργασίας IM και οι λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα σε κάθε χρονική στιγμή. Κλείνοντας γίνεται λόγος για τις μεταβλητές της διεργασίας IM οι οποίες επηρεάζουν όλη την εξέλιξη της διαδικασίας καθώς και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Στο σημείο αυτό μέσω παραδειγμάτων γίνεται εμφανής η αλληλεξάρτηση μεταξύ τους και τελικά η ανάγκη για εποπτικό έλεγχο της διεργασίας IM.

3.1 Οι σύγχρονες IMM

Εστιάζοντας περισσότερο στη διαδικασία IM γίνεται μια σύντομη αναφορά στην περιγραφή των μηχανών που εκτελούν την διεργασία IM και στα μέρη από τα οποία αυτές αποτελούνται.

Η μηχανή η οποία εκτελεί την διεργασία IM ονομάζεται μηχανή χύτευσης πλαστικού με έγχυση υπό πίεση ή **Injection Molding Machine (IMM)**. Αν και πρώτοι τύποι IMM χρησιμοποιούσαν υδραυλικό σύστημα οδήγησης η εξέλιξη ήρθε με την κατασκευή πλήρως ηλεκτρικών μηχανών οι οποίες είναι γρηγορότερες πιο ακριβείς και ενεργειακά πιο αποδοτικές σε σχέση με την IMM υδραυλικού τύπου. Από την άλλη πλευρά ένα σημαντικό τους μειονέκτημα είναι το κόστος απόκτησης. Τα τελευταία χρόνια οι υβριδικές IMM οι οποίες συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα και των δύο παραπάνω τύπων αλλά καταναλώνοντας περίπου την ίδια ενέργεια με μια ηλεκτρική μηχανή κερδίζουν όλο και περισσότερο έδαφος.

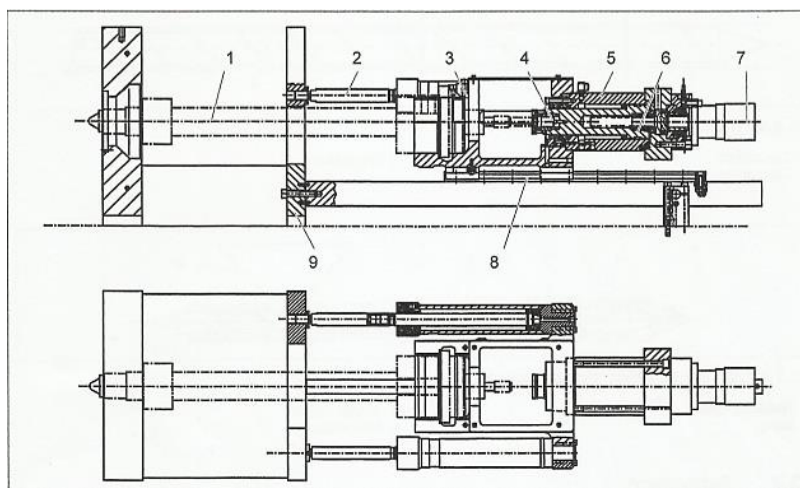
Τα κύρια μέρη μίας τυπικής IMM είναι η Μονάδα Έγχυσης (Injection Unit), η Μονάδα Σύσφιξης (Clamping Unit) και η Μονάδα Οδήγησης (Drive Unit).



Εικόνα 4: Δομή μίας τυπικής IMM [5]

3.1.1 Μονάδα έγχυσης

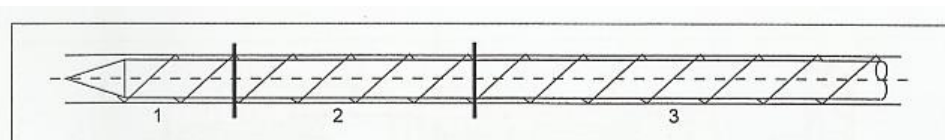
Σκοπός της μονάδας έγχυσης είναι η τήξη του πλαστικού υλικού που φτάνει σαν πρώτη ύλη, περνώντας το μέσα από τον θερμαινόμενο κύλινδρο (heating barrel), με την βοήθεια αντιστάσεων, και στη συνέχεια η έγχυση μέσω του κοχλία με μεγάλη πίεση εντός της κοιλότητας του καλουπιού.



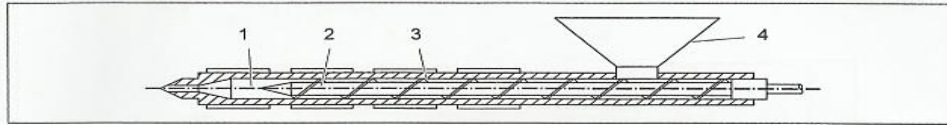
Εικόνα 5: Δομή της μονάδας έγχυσης [6] (1) Κύλινδρος κοχλία (2) Κύλινδρος κίνησης (3) Σφήνα σύσφιξης (4) Σύνδεσμός κοχλία (5) Έμβολο έγχυσης (6) Άξονας κίνησης (7) Κινητήρας (8) Γραμμικός οδηγός ακρίβειας (9) Στήριγμα βραχίονα

Το υλικό που εισέρχεται στη χοάνη τροφοδότησης μεταφέρεται με τη βοήθεια του περιστρεφόμενου κοχλία. Κατά την διαδρομή του προς τα εμπρός το υλικό με την περιστροφή του κοχλία έρχεται σε επαφή με τα θερμά τοιχώματα του κυλίνδρου αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία του. Το φαινόμενο αυτό εντείνεται και από την περιστροφή του κυλίνδρου και την διάτμηση της μάζας του τήγματος αναπτύσσοντας επιπλέον θερμότητα τριβής.

Ακολούθως το τήγμα που έχει μεταφερθεί στον προθάλαμο του κοχλία σπρώχνει τον κοχλία συνεχώς προς τα πίσω έως ότου επιτευχθεί η ρυθμιζόμενη διαδρομή πλαστικοποίησης. Στη συνέχεια το πλαστικοποιημένο τήγμα με τη βοήθεια του κοχλία που δεν περιστρέφεται πλέον αλλά λειτουργεί ως έμβολο εγχέεται στον κενό χώρο του καλουπιού. Κατά τη διάρκεια που το τήγμα ψύχεται στο καλούπι ξεκινάει η πλαστικοποίηση του τήγματος για την επόμενη δόση.



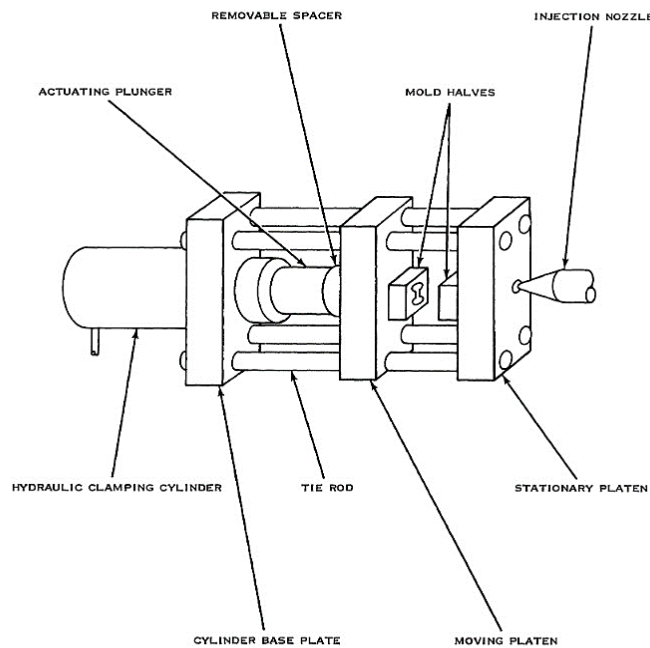
Εικόνα 6: Δομή της μονάδας έγχυσης [6] (1) Ζώνη εξώθησης (2) Ζώνη συμπίεσης (3) Ζώνη εισόδου



Εικόνα 7: Δομή μίας μονάδας πλαστικοποίησης [6]. (1) Προθάλαμος κοχλίας, (2) Κοχλίας, (3) Τοιχώματα κυλίνδρου, (4) Χοάνη πλήρωσης

3.1.2 Μονάδα σύσφιξης

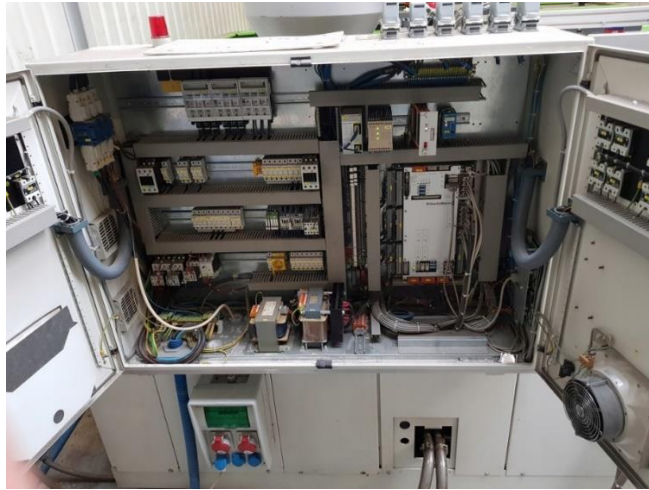
Κύριος ρόλος της μονάδας σύσφιξης είναι η συγκράτηση του καλούπιού κατά την διαδικασία της έγχυσης. Με αυτόν τον τρόπο η μονάδα σύσφιξης έχει την ικανότητα να κλείνει, να σφίγγει και να ανοίγει το καλούπι. Τα κυριότερα μέρη της είναι οι σταθερές και κινούμενες πλάκες, οι ράβδοι σύνδεσης μεταξύ των πλακών και ο μηχανισμός ανοίγματος, κλεισίματος και σύσφιξης. Είναι συχνό φαινόμενο οι IMM να κατηγοριοποιούνται με βάση την κλειστική δύναμη που παράγουν. Η δύναμη αυτή είναι υπεύθυνη για την συγκράτηση των δύο μερών από τα οποία αποτελείται το καλούπι και στις περισσότερες μηχανές κυμαίνεται από 200 – 100000 kN.



Εικόνα 8: Απεικόνιση δομής της μονάδας σύσφιξης [7]

3.1.3 Μονάδα ελέγχου και οδήγησης

Ολοκληρώνοντας η μονάδα οδήγησης ρυθμίζει και παρέχει την απαραίτητη ισχύ στις άλλες δύο μονάδες προκειμένου αυτές να επιτελέσουν χωρίς εμπόδια τη λειτουργία τους. Αποτελείται από τις κάρτες ελέγχου της μηχανής, συσκευές οδήγησης (drivers), σέρβο-βαλβίδες και ηλεκτρικούς και υδραυλικούς επενεργητές.



Εικόνα 9: Μονάδα ελέγχου IMM Krause Maffei C2

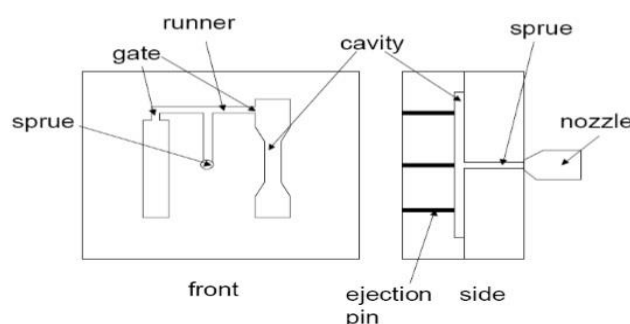
3.2 Το καλούπι μιας IMM

Κάθε καλούπι έχει σχεδιαστεί βάσει λεπτομερών προδιαγραφών που συμφωνούνται μεταξύ πελάτη και κατασκευαστή. Γενικά κάθε καλούπι αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος ονομάζεται κοιλότητα (cavity) και είναι υπεύθυνο για τον σχηματισμό της εξωτερικής επιφάνειας του παραγόμενου προϊόντος ενώ το δεύτερο μισό ονομάζεται πυρήνας (core) και αποτελεί το προεξέχον μέρος το οποίο είναι υπεύθυνο για το σχηματισμό της εσωτερικής επιφάνειας του προϊόντος. Όταν το καλούπι με την βοήθεια του κλειστικού μηχανισμού κλείσει και τα δύο μέρη «κουμπώσουν» το ένα με το άλλο τότε δημιουργούν την επιφάνεια η οποία γεμίζει με πλαστικό υλικό και επί της ουσίας σχηματίζει το παραγόμενο μέρος. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων το πλαστικό υλικό εγχέεται στο καλούπι για να σχηματιστεί το τελικό προϊόν από την πλευρά της κοιλότητας.

Οι διαστάσεις βάσει των οποίων θα κοπεί ένα καλούπι προκειμένου να σχηματιστούν οι κοιλότητες του είναι συνήθως μεγαλύτερες από πραγματικές διαστάσεις του παραγόμενου προϊόντος. Αυτό γίνεται προκειμένου να αντισταθμιστούν οι συνέπειες της συρρίκνωσης του προϊόντος κατά την διάρκεια της ψύξης. Έτσι οι διαστάσεις που κόβεται ένα καλούπι προκύπτουν από τις διαστάσεις του τελικού προϊόντος προστιθέμενες με έναν παράγοντα συρρίκνωσης που δίνεται στους κατασκευαστές πλαστικών προϊόντων από τους παρόχους των πρώτων υλών.

Συνήθως δίδονται δύο συντελεστές συρρίκνωσης, ένας για διαστάσεις στην κατεύθυνση της ροής του τήγματος και ο άλλος για διαστάσεις κάθετες στην κατεύθυνση ροής. Ωστόσο, η εκτίμηση της συρρίκνωσης δεν είναι πάντοτε εύκολη. Είναι συχνά δύσκολο να προβλεφθεί η διαδρομή ροής του τήγματος σε τμήματα με περίπλοκες γεωμετρίες και συνεπώς δεν είναι σαφές ποιος συντελεστής συρρίκνωσης πρέπει να εφαρμοστεί. Η συρρίκνωση του τελικού προϊόντος επηρεάζεται επίσης από τις συνθήκες της διεργασίας

Επιπλέον κάθε καλούπι αποτελείται από μία σειρά από τμήματα τα οποία έχουν σχεδιαστεί με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Έτσι στην πορεία που ακολουθεί το τήγμα προκειμένου να γεμίσει την κοιλότητα του καλουπιού αρχικά διέρχεται μέσα από ένα κανάλι εισόδου sprue με κατεύθυνση από το ακροφύσιο της μονάδας έγχυσης προς το καλούπι. Μετέπειτα το τήγμα ρέει μέσω ενός συστήματος διανομής, που ονομάζεται σύστημα δρομέων (runner system) και διακλαδίζεται προς τις πύλες (gates). Πύλες ονομάζονται τα σημεία από όπου εισέρχεται το πλαστικό στο καλούπι και από τα οποία γίνεται η πλήρωση του καλουπιού με τετηγμένο πλαστικό. Και τα τρία αυτά τμήματα του καλουπιού βρίσκονται στο σταθερό του κομμάτι. Κατά το σχεδιασμό του συστήματος δρομέων ο αντικειμενικός στόχος είναι να φτάσει το τετηγμένο υλικό ταυτόχρονα σε όλες τις πύλες. Αυτό είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό θέμα στα καλούπια πολλαπλών κοιλοτήτων. Σε ένα ορθογώνιο σύστημα δρομέων, ο αριθμός των κοιλοτήτων είναι πολλαπλάσιο των δύο ενώ σε έναν κυκλικό σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοσδήποτε αριθμός κοιλοτήτων.



Εικόνα 10: Γραμμικό διάγραμμα καλουπιού [8]

3.3 Ο κύκλος της διεργασίας IM

Ο κύκλος της διεργασίας IM μπορεί να χωριστεί σε τρία διακριτά κύρια στάδια [8]. Το **πρώτο στάδιο** είναι η διαδικασία έγχυσης του τετηγμένου υλικού στο καλούπι, το **δεύτερο στάδιο** η ανάπτυξη της πίεση συγκράτησης (B-φάση πίεσης) και η πλαστικοποίηση, και τέλος το **τρίτο στάδιο** η εξαγωγή του τελικού προϊόντος. Όταν ένας κύκλος τελειώσει η διαδικασία επαναλαμβάνεται από την αρχή.

Στο πρώτο στάδιο το καλούπι είναι κλειστό και το ακροφύσιο της μονάδας έγχυσης (nozzle) εφαρμόζεται στο κανάλι (sprue) που βρίσκεται στην σταθερή πλάκα του καλουπιού, μέσω του οποίου το τετηγμένο πλαστικό υλικό εισέρχεται στην κοιλότητα του καλουπιού. Στη συνέχεια ο κοχλίας σταματά να περιστρέφεται και με μία γραμμική κίνηση προς την κατεύθυνση του καλουπιού σπρώχνει με υψηλή πίεση το πλαστικό υλικό που έχει συγκεντρωθεί στο εμπρόσθιο μέρος του εντός της κοιλότητας του καλουπιού.

Το δεύτερο στάδιο της διεργασίας IM ξεκινά με την ανάπτυξη της B-φάσης πίεσης και της διαδικασίας πλαστικοποίησης. Σε αυτό το σημείο η πλήρωση του καλουπιού

με υλικό είναι η μέγιστη και ο κοχλίας παραμένει σταθερός σε αυτή τη θέση για ένα χρονικό διάστημα που ονομάζεται χρόνος συγκράτησης. Σε αυτό το στάδιο επιπλέον μικρή ποσότητα υλικού εισέρχεται στο καλούπι προκειμένου να αντισταθμιστούν οι συνέπειες της συστολής του υλικού λόγω ψύξης. Με το χρόνο και την διαδικασία ψύξης να εξελίσσεται τα σημεία από όπου εισέρχεται το πλαστικό στο καλούπι και αποκαλούνται πύλες (gates) στερεοποιούνται. Από το σημείο αυτό και μετέπειτα το καλούπι απομονώνεται από την μονάδα έγχυσης, παρόλα αυτά η πίεση εντός της κοιλότητας του καλουπιού παραμένει υψηλή ώστε να αποφευχθούν βαθουλώματα και κοιλότητες στην επιφάνεια των τελικών προϊόντων. Στη Β-φάση πίεσης η πίεση είναι μικρότερη από την πίεση που αναπτύσσεται κατά την έγχυση και μέχρι τη διαμόρφωση του μεγαλύτερου μέρους του τελικού προϊόντος όμως αρκετά σημαντική για την ποιότητα των προϊόντων που παράγονται.

Όταν στερεοποιηθεί το πλαστικό υλικό στις πύλες του καλουπιού ξεκινάει η διαδικασία της πλαστικοποίησης η οποία περιλαμβάνει την περιστροφή του κοχλίου. Αναλυτικότερα η περιστροφή του κοχλίου προκαλεί την κίνηση της πρώτης ύλης από την χοάνη που βρίσκεται υπό τη μορφή κόκκων εντός του θερμαινόμενου κυλίνδρου. Έτσι στο τέλος της διαδρομής εντός του κυλίνδρου το πλαστικό υλικό με την βοήθεια των ηλεκτρικών αντιστάσεων που βρίσκονται στην επιφάνεια του κυλίνδρου έχει λιώσει εντελώς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την συσσώρευση τετηγμένου πλαστικού στο εμπρόσθιο μέρος του κυλίνδρου. Το τήγμα που συσσωρεύεται στο τέλος της διαδρομής του κοχλίου ωθεί τον κοχλίο προς τα πίσω. Έτσι ο κοχλίας περιστρέφεται και κινείται προς τα πίσω ταυτόχρονα. Ο ρυθμός με τον οποίο συσσωρεύεται το πλαστικό τήγμα στο εμπρόσθιο μέρος του κοχλίου μπορεί να ελεγχθεί ρυθμίζοντας την υδραυλική πίεση που δημιουργείται στην επιφάνεια του κοχλίου.

Όταν συγκεντρωθεί επαρκής ποσότητα τήγματος στο εμπρόσθιο τμήμα του κοχλίου, η περιστροφή του σταματά. Κατά τη διάρκεια της περιστροφής του κοχλίου γίνεται μέτρηση του χρόνου ψύξης του προϊόντος. Αυτή όμως δεν τελειώνει με το τέλος της περιστροφής του κοχλίου αλλά συνεχίζει για ορισμένο χρονικό διάστημα ακόμη μέχρις ότου η ψύξη του τελικού προϊόντος ολοκληρωθεί και το καλούπι ξεκλειδώσει.

Το τρίτο και τελευταίο στάδιο περιλαμβάνει την διαδικασία εξαγωγής του τελικού προϊόντος από το καλούπι της μηχανής. Έτσι όταν το υλικό στο καλούπι έχει ψυχθεί επαρκώς για να διατηρήσει το σχήμα του, το καλούπι ανοίγει και τα τελικά μέρη εξάγονται από το καλούπι με την βοήθεια πείρων που βρίσκονται στο κινητό πλατό του καλουπιού. Στο στάδιο αυτό τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούνται ρομποτικοί μηχανισμοί που παραλαμβάνουν τα τελικά προϊόντα. Τέλος αφού τα τελικά προϊόντα αφαιρεθούν από το καλούπι, αυτό κλείνει ξανά και ο επόμενος κύκλος της διεργασίας IM ξεκινά από την αρχή.

Όπως αναφέρθηκε το μεγαλύτερο σε διάρκεια μέρος του κύκλου της διεργασίας IM καταλαμβάνει ο χρόνος ψύξης του τελικού προϊόντος. Η σωστή και ομοιόμορφη ψύξη του παραγόμενου μέρους κατά την φάση της διαμόρφωσης του εντός του καλουπιού αποτελεί σημαντικό παράγοντα ο οποίος επηρεάζει άμεσα την ποιότητα

του παραγόμενου προϊόντος. Ενώ αρχικά η πρώτη ύλη θερμαίνεται για να αναπτυχθεί η κατάλληλη θερμοκρασία ώστε να λιώσει σωστά το υλικό, στη συνέχεια η γρήγορη ψύξη είναι αναγκαία μιας και επιτρέπει στο υλικό να στερεοποιηθεί και να είναι έτοιμο να απορριφθεί από το καλούπι την κατάλληλη χρονική στιγμή. Η ψύξη του παραγόμενου μέρους που βρίσκεται εντός της κοιλότητας του καλουπιού επιτυγχάνεται συνήθως με την κυκλοφορία νερού σε συγκεκριμένη θερμοκρασία εντός καναλιών που βρίσκονται στο εσωτερικό του καλουπιού και απάγουν θερμότητα από το υλικό. Επομένως στόχος είναι η ψύξη του παραγόμενου μέρους όσο το δυνατόν ταχύτερα και πιο ομοιόμορφα, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ότι δεν θα παρατηρούνται ελαττώματα όπως κακή τελική επιφάνεια και αλλαγές τις φυσικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

3.4 Μεταβλητές της διεργασίας IM

Η παραγωγή χυτών τεμαχίων μέσω της διεργασίας IM εξαρτάται από μία σειρά από παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα και τις ιδιότητες των παραγόμενων προϊόντων. Η παρακολούθηση και η ρύθμιση των μεταβλητών αυτών είναι κομβικής σημασίας προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Παραδείγματος χάριν αυξάνοντας την υδραυλική πίεση που ασκεί το τήγμα στον κοχλία (hydraulic back pressure) προκαλείται αλλαγή στην γραμμική ταχύτητα επιστροφής του κοχλία. Το γεγονός αυτό με τη σειρά του επηρεάζει παράγοντες όπως ο χρόνος περιστροφής του κοχλία (recovery time), η θερμοκρασία του τήγματος και η ομογενοποίηση του. Η αύξηση της θερμοκρασίας του τήγματος έχει σαν αποτέλεσμα την διαφοροποίηση κρίσιμων μεταβλητών όπως του χρόνου πλήρωσης του καλουπιού με υλικό, της πίεσης έγχυσης, της θερμοκρασίας του καλουπιού, της θερμοκρασίας που γίνεται η απόρριψη του τεμαχίου και κατά συνέπεια των διαστάσεων του τεμαχίου. Έτσι γίνεται εμφανές ότι μεταβάλλοντας την τιμή μίας μεταβλητής της διεργασίας όπως η hydraulic back pressure αυτό επηρεάζει συλλογικά άλλες μεταβλητές.

Ακόμη ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για την αλληλεπίδραση των μεταβλητών της διεργασίας IM είναι το ακόλουθο. Έστω ότι η θερμοκρασία του καλουπιού είναι ρυθμισμένη στα χαμηλά επίπεδα του επιτρεπτού εύρους διότι το πάχος του παραγόμενου τεμαχίου είναι της τάξης των 1.65 mm η λιγότερο. Τότε η θερμοκρασία του τήγματος θα πρέπει να βρίσκεται στα μεσαία προς ανώτερα όρια του επιτρεπτού εύρους έτσι ώστε το τήγμα να εγχυθεί εντός της κοιλότητας του καλουπιού με τη μέγιστη ταχύτητα έγχυσης. Επιπλέον η πίεση συγκράτησης θα πρέπει να είναι αρκετά υψηλή ώστε να εξασφαλιστεί το ασφαλές κλείσιμο του καλουπιού.

Όταν μεταβάλλεται η τιμή μίας συγκεκριμένης μεταβλητής της διαδικασίας ή γίνεται μια αλλαγή στη ρύθμιση της μηχανής που επηρεάζει σε τέτοιο βαθμό τη σταθερότητα

της διαδικασίας IM, ώστε να παράγονται ελαττωματικά τεμάχια, είναι σημαντικό να διορθώνεται η διαταραχή.

Οι κατηγορίες μεταβλητών που καθορίζουν εν πολλοίς την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων είναι οι μεταβλητές που σχετίζονται με την **θερμοκρασία**, την **πίεση**, την **ταχύτητα** και τον **χρόνο**. Μόνο όταν οι μεταβλητές αυτών των κατηγοριών ρυθμίζονται και προσαρμόζονται πλήρως σε σχέση με τις προδιαγραφές των IMM και τα χαρακτηριστικά του υλικού που χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη εξασφαλίζεται η υψηλή ποιότητα των προϊόντων και η βελτιστοποίηση της διεργασίας IM.

Παρακάτω παρουσιάζονται τυπικές μεταβλητές της διεργασίας IM που πρέπει να παρακολουθούνται και να ελέγχονται κατά τη διάρκεια κάθε κύκλου. Αυτές οι μεταβλητές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ομάδες ως ακολούθως.

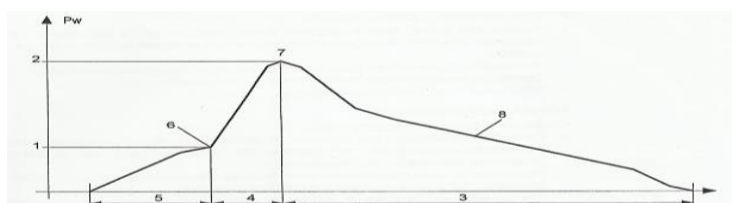
Ταχύτητα	Πίεση	Χρόνος	Θερμοκρασία
Έγχυσης	Έγχυσης	Κύκλου	Τήγματος
Περιστροφής κοχλία	Συγκράτησης	Έγχυσης	Καλουπιού
Επιστροφής κοχλία	Δυναμική	Ψύξης	Νερού ψύξης

Πίνακας 1: Κύριες παράμετροι της διεργασίας IM

Η πίεση έγχυσης (injection pressure) που αναπτύσσεται κατά τη φάση πλήρωσης του καλουπιού με τήγμα ευθύνεται σε μεγάλο βαθμό για την εξωτερική επιφάνεια του τελικού προϊόντος (π.χ. λεία εξωτερική επιφάνεια η όχι) καθώς και την πυκνότητα του. Επιπλέον στη φάση πλήρωσης καθορίζεται και η κατανομή της θερμοκρασίας στο τήγμα στην αρχή της πίεσης συγκράτησης.

Η ανάπτυξη της πίεσης συγκράτησης ή της λεγόμενης Β-φάσης πίεσης έχει σαν αποτέλεσμα την περαιτέρω συμπίεση του τήγματος σε χαμηλότερη πίεση από αυτή της πίεσης έγχυσης. Επηρεάζει κυρίως ποιοτικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος την πυκνότητα του, το βάρος του, και εμφάνιση ή όχι παραμορφώσεων και στρεβλώσεων. Είναι σημαντικό η Β-φάση πίεσης να ρυθμίζεται τόσο υψηλή ώστε να επαρκεί για την αποφυγή σπηλαιών και παραμορφώσεων αλλά και τόσο χαμηλή όσο είναι δυνατόν. Υψηλή Β-φάση πίεσης για μεγάλο χρονικό διάστημα δεν έχει νόημα όταν το στόμιο χύτευσης έχει κρυσώσει.

Η δυναμική πίεση που ασκείται στον κοχλία από το τήγμα (hydraulic back pressure) καθορίζεται από το είδος του υλικού που χρησιμοποιείται σαν πρώτη ύλη και τον αριθμό των στροφών του κοχλία. Αυτή με τη σειρά της επηρεάζει την δοσομέτρηση του υλικού.



Εικόνα 11: Επιρροή της συνάρτησης της πίεσης στην ποιότητα του χυτού τεμαχίου [6]

Στην εικόνα 11 παρουσιάζεται η επιρροή της χρονικής εξέλιξης της πίεσης στην ποιότητα του προϊόντος. Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν τα εξής:

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Σημείο πλήρωσης (F1) | 5. Χρόνος έγχυσης (t1) |
| 2. Μέγιστη πίεση (Pw1) | 6. Σύσταση εξωτερικής επιφάνειας |
| 3. Χρόνος πίεσης Συγκράτησης (t3) | 7. Διαμόρφωση |
| 4. Χρόνος συμπίεσης (t2) | 8. Συμπίεση κατά μήκος της διαδρομής |

Η ταχύτητα περιστροφής του κοχλία κατά τη φάση της πλαστικοποίησης σχετίζεται άμεσα με το είδος του υλικού που χρησιμοποιείται κατά τη διαδικασία ΙΜ. Συνήθως υψηλές ταχύτητες περιστροφής του κοχλία απαιτούνται σε υλικά (πρώτη ύλη) που δεν απορροφούν επαρκή θερμότητα από τα τοιχώματα του κυλίνδρου της μονάδας έγχυσης προκειμένου να αποκτήσουν την κατάλληλη ρευστότητα (ιξώδες) και αυτό επιτυγχάνεται με τη θερμότητα δια της τριβής από την περιστροφή του κοχλία κατά τη φάση της πλαστικοποίησης.

Η γραμμική ταχύτητα οπισθοδρόμησης του κοχλία κατά τη φάση της πλαστικοποίησης, καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη δυναμική πίεση που ασκεί το τήγμα στον κοχλία. Επιπλέον επηρεάζει άμεσα τη δοσομέτρηση της πρώτης ύλης που είναι απαραίτητη προκειμένου να πληρωθεί κατάλληλα το καλούπι με τηγμένο υλικό.

Όσον αφορά την ταχύτητα έγχυσης (injection speed) ανάλογα με την περίπτωση θα πρέπει να διαμορφώνεται κατάλληλα.

Έτσι μια υψηλή ταχύτητα έγχυσης:

- Δίνει σύντομους χρόνους έγχυσης
- τροφοδοτεί όλους της τομείς του χυτού τεμαχίου με το ίδιο ιξώδες και ελαττώνει έτσι της εσωτερικές τάσεις στο χυτό τεμάχιο
- απαιτεί μικρότερο έργο κλεισίματος
- θα πρέπει να επιλέγεται για την παραγωγή τεμαχίων με λεπτά τοιχώματα.

Αντιθέτως μια χαμηλή ταχύτητα έγχυσης προσφέρει τα εξής:

- καλές εξωτερικές επιφάνειες
- εμποδίζει τη διάτμηση του τήγματος σε απότομες γωνίες και σε σημεία αλλαγής της κατεύθυνσης του μετώπου ροής καθώς και σε ζώνες μεταβολής του πάχους των τοιχωμάτων
- εμποδίζει την υπερθέρμανση του στομίου χύτευσης (μπουκαδούρα)
- πρέπει να επιλέγεται για την καλή πλήρωση των χυτών τεμαχίων με χοντρά τοιχώματα.

Όσον αφορά τις μεταβλητές που σχετίζονται με τη θερμοκρασία κατά τη διαδικασία ΙΜ συνδέονται και αυτές άμεσα με τη βελτιστοποίηση της διεργασίας και με την ποιότητα των τελικών προϊόντων.

Έτσι, η θερμοκρασία του τήγματος παίζει μεγάλο ρόλο στη διαμόρφωση της ρευστότητας του τήγματος, πράγμα που με τη σειρά του επηρεάζει της μεταβλητές πίεση έγχυσης, χρόνο έγχυσης και χρόνο ψύξης. Συνήθως το εύρος των θερμοκρασιών του τήγματος ανάλογα με την εφαρμογή δίνεται από της προμηθευτές των πρώτων υλών πχ πολυπροπυλένιο.

Κάτι ανάλογο με τη θερμοκρασία του τήγματος συμβαίνει και με τη θερμοκρασία που θα πρέπει να βρίσκεται το καλούπι προκειμένου να υποδεχτεί το τήγμα. Και σε αυτή την περίπτωση οι θερμοκρασίες του καλουπιού ποικίλουν ανάλογα με το είδος της πρώτης ύλης. Ακολουθεί χαρακτηριστικός πίνακας με το εύρος θερμοκρασιών ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται.

Συνθετικά υλικά	Θερμοκρασία καλουπιού [°C]
PS, SB, SAN, ABS	10 - 80
PE	20 - 60
PP	20 - 80
PVC	20 - 60
PA6	60 - 100
PA6.6, 6.10	40 - 90
PA12	40 - 80
PC	80 - 120
CA, CP, CAB	40 - 80
PMMA	40 - 80
POM	40 - 120
PUR	40 - 80
Πολυεστέρας	170 - 200
Αλκυδική ρητίνη	160 - 180
Φαινολικές ρητίνες	170 - 190
Καρβαμδικές ρητίνες	130 - 150
Φαινολικές ρητίνες μελαμίνης	170 - 190

Εικόνα 12: Θερμοκρασίες καλουπιού για ενδεικτικά συνθετικά υλικά [6]

Αντίστοιχα πολύ σημαντικός παράγοντας που εντάσσεται στην ομάδα των μεταβλητών που σχετίζονται με τη θερμοκρασία, είναι η θερμοκρασία στην οποία που θα πρέπει να βρίσκεται το ψυκτικό μέσο που επιτυγχάνει την ψύξη κατά τη διάρκεια της διεργασίας IM. Στην πλειοψηφία των περιπτώσεων το μέσο αυτό είναι το νερό και η θερμοκρασία του και ο ρυθμός ροής του εντός των καναλιών του καλουπιού είναι τα στοιχεία που καθορίζουν την αποτελεσματικότητα της απομάκρυνσης της θερμότητας που έχει αναπτυχθεί κατά τα προηγούμενα στάδια. Συνοψίζοντας, η θερμοκρασία του νερού κατά την ψύξη διαμορφώνει το χρόνο ψύξης που αποτελεί και το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου κύκλου της διεργασίας IM και καθορίζει την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων ιδιαίτερα στις εξωτερικές επιφάνειες.

Η παρακολούθηση και η ρύθμιση των χρόνων κατά τη διάρκεια της διεργασίας IM αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα στοιχεία που συμβάλουν στην βελτιστοποίηση της διαδικασίας.

Ο χρόνος κύκλου της διεργασίας IM, στο τέλος του οποίου παράγεται το τελικό προϊόν της, είναι παράγοντας που εν πολλοίς καθορίζεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά της IMM και το είδος του τελικού προϊόντος που παράγεται. Στις σύγχρονες IMM ο χρόνος κύκλου είναι της τάξης των μερικών δευτερολέπτων.

Ο χρόνος που διαρκεί η διαδικασία της έγχυσης καθορίζεται από την πίεση έγχυσης αλλά και τον ρυθμό ροής του τήγματος και ρυθμίζεται από ένα υψηλού ρυθμού κύκλωμα χρονιστή.

Όπως ήδη έχει ειπωθεί ο χρόνος ψύξης καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της διάρκειας του κύκλου της διεργασίας IM. Η κύρια μεταβλητή η οποία καθορίζει τη διάρκεια του χρόνου αυτού είναι το πάχος του παραγόμενου προϊόντος. Παρόλα αυτά σε μικρότερο βαθμό επηρεάζεται και από τη θερμοκρασία του τήγματος και την ταχύτητα έγχυσης. Στόχος των κατασκευαστών προϊόντων που παράγονται με βάση τη διεργασία IM να πετύχουν όσο το δυνατόν μικρότερους χρόνους ψύξης. Ο χρόνος ψύξης αποτελεί μια σημαντική παράμετρο της διεργασίας και η σωστή του ρύθμιση συμβάλει στην παραγωγή προϊόντων με επιφάνειες χωρίς ελαττώματα και προϊόντα υψηλής ποιότητας.

3.5 Ανάγκη για εποπτικό έλεγχο

Σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο γίνεται εύκολα αντιληπτή η στενή σχέση που υπάρχει μεταξύ των μεταβλητών που καθορίζουν την πορεία εξέλιξης της διεργασίας IM. Η αλληλεπίδραση και η αλληλεξάρτηση μεταξύ των μεταβλητών αυτών είναι εμφανής, καθώς η διαφοροποίηση ή η μεταβολή μιας εξ αυτών προκαλεί αλυσιδωτές μεταβολές και στις υπόλοιπες. Το γεγονός αυτό κάνει εμφανή την ανάγκη για παρακολούθηση και έλεγχο όλων αυτών των παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο προκειμένου να εξασφαλιστεί η απρόσκοπτη εξέλιξη της διαδικασίας IM και κατά συνέπεια η παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας.

Στο παρελθόν πολλές παράμετροι της διεργασίας IM καθορίζονταν με τη μέθοδο 'δοκιμής και σφάλματος' δαπανώντας έτσι πολύτιμο χρόνο και αρκετά χρήματα σε ακριβές διαδικασίες και υλικά.

Μάλιστα σύμφωνα και με τους H Lee, Y Liao και K Ryu [9] δύο είναι τα πιο συνήθη προβλήματα που παρουσιάζει η διεργασία IM. Το πρώτο πρόβλημα είναι η επιλογή των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων της διεργασίας για την αρχική ρύθμιση των IMM προκειμένου να υλοποιηθεί αποτελεσματικά η κατασκευή των προϊόντων μετά τον αρχικό σχεδιασμό τους. Το δεύτερο πρόβλημα είναι η δυσκολία στην τροποποίηση των αρχικών τιμών των παραμέτρων της διεργασίας κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας ειδικά όταν εμφανίζονται ελαττώματα κατά την κατασκευή.

Σήμερα πλέον είναι δυνατόν μέσω ελεγκτών και συστημάτων που παρακολουθούν και ελέγχουν την διεργασία IM σε όλη της τη διάρκεια να υπολογίζονται εύκολα και σωστά πολλές παράμετροι της διεργασίας IM μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα ώστε να γίνονται όσο το δυνατόν ελάχιστες παρεμβάσεις. Τέτοια συστήματα με διαδραστικό περιβάλλον και δυνατότητα εύκολης ανθρώπινης παρέμβασης είναι τα συστήματα

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) στα οποία θα αναφερθούμε στη συνέχεια.

Κεφάλαιο 4 - Ανάλυση των συστημάτων SCADA

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι η εισαγωγή στα βασικά στοιχεία και της τεχνολογίες που απαρτίζουν ένα σύστημα SCADA. Σκοπεύουμε με αυτόν τον τρόπο στην απόκτηση υποβάθρου ώστε να γίνει εύκολα κατανοητή η μετέπειτα ανάπτυξη της τέτοιου συστήματος εφαρμοζόμενο στην βιομηχανία παραγωγής πλαστικών προϊόντων για την αλυσίδα τροφίμων. Έτσι στην αρχή του κεφαλαίου 4 γίνεται μία σύντομη αναφορά της βασικούς στόχους που θα πρέπει κάθε σύστημα SCADA να επιτυγχάνει. Εν συνεχεία μέσα από την ιστορική διαδρομή ανάπτυξης τέτοιων συστημάτων παρουσιάζεται η εξέλιξη των αρχιτεκτονικών των συστημάτων SCADA η οποία ακολουθεί της τεχνολογικές εξελίξεις κάθε εποχής. Ακολούθως αναδεικνύονται τα δομικά στοιχεία που απαρτίζουν τα συστήματα εποπτικού ελέγχου και γίνεται αναφορά στο ρόλο που επιτελεί καθένα ξεχωριστά στη δομή του όλου συστήματος. Το τέλος του παρόντος κεφαλαίου επικεντρώνεται γύρω από την επικοινωνία και την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των στοιχείων που απαρτίζουν ένα σύστημα SCADA. Σε αυτή την κατεύθυνση παρουσιάζονται τα βασικά πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε εφαρμογές εποπτικού ελέγχου παγκοσμίως.

4.1 Τα συστήματα SCADA

Τα τελευταία χρόνια η επανάσταση που συντελέστηκε στον τομέα των ψηφιακών συστημάτων, των Η/Υ και των τηλεπικοινωνιακών δικτύων συνέβαλε στην αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο (real time) αλλά και στην ανάπτυξη διαδικασιών ελέγχου που γρήγορα ενσωματώθηκαν στον χώρο των βιομηχανικών συστημάτων. Προσδίδονται έτσι πρωτόγνωρες δυνατότητες αυτοματοποίησης, παρακολούθησης και ελέγχου της βιομηχανικές μονάδες.

Τέτοια συστήματα που απαντώνται κατά κόρον στη βιομηχανία ονομάζονται συστήματα SCADA. Ο ορισμός της προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων *Supervisory Control and Data Acquisition* δηλαδή συστήματα Εποπτικού Ελέγχου και Συλλογής Δεδομένων.

Σκοπός των συστημάτων αυτών είναι:

- a) Η λήψη και αποθήκευση κρίσιμων δεδομένων για μία παραγωγική διαδικασία σε πραγματικό χρόνο.
- b) Η γραφική απεικόνιση της παραγωγικής διαδικασίας μέσω δυναμικών και διαδραστικών αντικειμένων.
- c) Η Παρουσίαση σημαντικών τιμών σε ενεργά πεδία.
- d) Η παραγωγή γραφημάτων και η καταγραφή ιστορικού με σκοπό τη στατιστική επεξεργασία δεδομένων και την επικοινωνία με βάσεις δεδομένων.

ε) Η αναγγελία σημαντικών καταστάσεων αλλά και καταστάσεων κινδύνου.



Εικόνα 13: Αναπαράσταση κεντρικού σταθμού συστήματος SCADA

4.2 Ιστορική αναδρομή

Αρχικά οι πρώτες προσπάθειες για τη δημιουργία και ανάπτυξη συστημάτων εποπτικού ελέγχου αναπτύχθηκαν για τα ηλεκτρικά συστήματα κοινής ωφέλειας προκειμένου να γίνεται έλεγχος τους χωρίς φυσική παρουσία ανθρώπου. Έτσι κατά την δεκαετία του 1940 γίνεται η προσπάθεια διασύνδεσης διάφορων συστημάτων της παραγωγικής διαδικασίας με έναν απομακρυσμένο σταθμό παρακολούθησης μέσω ζεύγους τηλεφωνικών γραμμών. Η αξιοποίηση της μεθόδου της πολυπλεξίας σε ένα ζεύγος τηλεφωνικών γραμμών, λαμβάνοντας ιδέες από μηχανισμούς όπως ο βηματικός μαγνητικός διακόπτης που είχε αναπτυχθεί από εταιρίες τηλεφωνίας κατά την δεκαετία του 30', καθώς και τεχνολογιών όπως τα συστήματα κωδικοποίησης οδήγησε τις εταιρίες Westinghouse και North Electric Company στην ανάπτυξη του πρώτου συστήματος SCADA με την ονομασία Visicode [10].

Το 1950 και το 1965 αντίστοιχα οι εταιρίες General Electric και Control Corporation αντίστοιχα αναπτύσσουν τα δικά της ανεξάρτητα συστήματα εποπτικού ελέγχου τα οποία βρίσκουν εφαρμογή σε εταιρίες φυσικού αερίου, αγωγούς μεγάλων αποστάσεων κ.α. Την ίδια χρονική περίοδο η τηλεμετρία κάνει την εμφάνιση της στον τομέα της παρακολούθησης της βιομηχανικής διαδικασίας.

Μέχρι το τέλος της δεκαετίας του '60 τα περισσότερα συστήματα εποπτικού ελέγχου βασίζονταν σε τηλεφωνικές γραμμές και στη χρήση καλωδίων. Η ουσιαστική ανάπτυξη των συστημάτων εποπτικού ελέγχου γίνεται με την ανάπτυξη διατάξεων στέρεας κατάστασης (solid state devices) και των τρανζίστορ. Έτσι αρχικά παρατηρείται η εμφάνιση των λεγόμενων minicomputers των 8 bits και 16 bits οι οποίοι ήταν σε θέση να εκτελούν λειτουργίες που μέχρι τότε γινόταν από χειριστές σε πίνακες ελέγχου εγκατεστημένους σε κάθε σταθμό. Στη συνέχεια η εξέλιξη και η εμφάνιση των μικροεπεξεργαστών (microcomputers) τα επόμενα χρόνια έφερε κυριολεκτικά επανάσταση στην τεχνολογία των συστημάτων εποπτικού ελέγχου καθώς οι υπολογιστές προσέφεραν ευελιξία στον προγραμματισμό και την

επικοινωνία με μονάδες συλλογής δεδομένων που προηγουμένως γίνονταν ενσύρματα. Η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας των μικροεπεξεργαστών και των υπολογιστικών συστημάτων επέτρεψε στα συστήματα SCADA να προσφέρουν λειτουργίες της η σάρωση δεδομένων, η παρακολούθηση μιας κατάστασης σε συνθήκες πραγματικού χρόνου και η εμφάνιση δεδομένων.

Από την δεκαετία του 70' και μετέπειτα η εμφάνιση των πρώτων PLCs (Programmable Logic Controller) είναι γεγονός, με το πρώτο PLC να αναπτύσσεται από την Bedford Associates που έγινε γνωστό και ως 084 ή Modicon (Modular Digital Controller).

4.3 Αρχιτεκτονική των συστημάτων SCADA

Η βασική λειτουργία της συστήματος SCADA ξεκινάει με τη συλλογή δεδομένων, τη μεταφορά της σε ένα κεντρικό σταθμό στον οποίο γίνεται η ανάλυση και επεξεργασία αυτών των δεδομένων, την απεικόνιση σημαντικών πληροφοριών και ενδείξεων σε μία η περισσότερες οθόνες του συστήματος SCADA και τέλος την εκτέλεση και αποστολή εντολών ελέγχου στις συσκευές που βρίσκονται στο πεδίο (field devices). Η τεχνολογική εξέλιξη και η ανάγκη για περισσότερη ευφυία και ασφάλεια των συστημάτων οδήγησε στην ανάπτυξη νέων αρχιτεκτονικών. Αυτή η εξέλιξη στις αρχιτεκτονικές των συστημάτων SCADA και στις λειτουργίες που δύναται να εκτελέσουν χρονολογικά μπορεί να χωριστεί στις εξής 4 γενιές συστημάτων.

1. Μονολιθικά συστήματα SCADA
2. Κατανεμημένα συστήματα SCADA
3. Δικτυωμένα συστήματα SCADA
4. Internet of things (IoT)

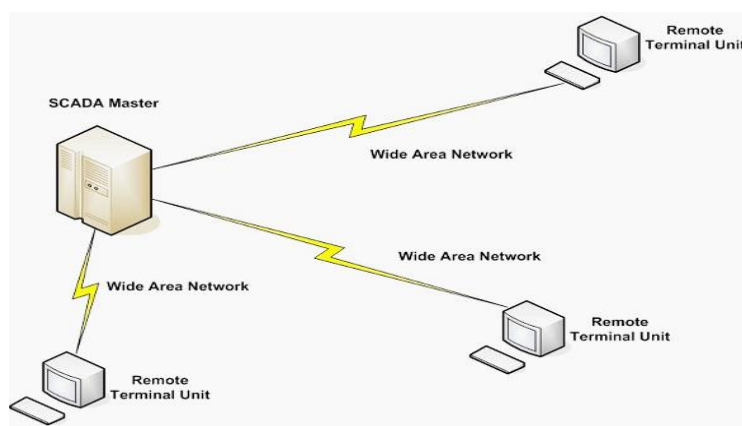
4.3.1 Μονολιθικά συστήματα (Monolithic systems)

Η βασική δομή αυτών των συστημάτων στηριζόταν σε ένα κεντρικό υπολογιστικό σύστημα μεγάλης υπολογιστικής ισχύος (mainframe computer) το οποίο συνδεόταν και αντάλλαζε δεδομένα με διάφορα RTUs (Remote Terminal Units). Αυτά τα RTU είχαν τον ρόλο να μεταφέρουν δεδομένα τηλεμετρίας στο mainframe σύστημα και να λαμβάνουν από αυτό μηνύματα και εντολές ελέγχου για της συσκευές της έλεγχου.

Χαρακτηριστικό αυτών των συστημάτων ήταν η απουσία ουσιαστικής δικτύωσης. Ακόμη και αν τα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN) είχαν αναπτυχθεί εκείνη την περίοδο, ο μόνος ρόλος αυτών στα μονολιθικά συστήματα SCADA ήταν η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ RTU και master station (mainframe computer). Έτσι πρακτικά τα πρώτα συστήματα ελέγχου δεν είχαν την ικανότητα της διασύνδεσής με άλλα και ουσιαστικά ήταν αυτόνομα συστήματα (standalone systems). Όσον αφορά τα

πρωτόκολλα επικοινωνίας που ήταν διαθέσιμα, αυτά είχαν αναπτυχθεί από διάφορους κατασκευαστές RTU και εφαρμόζονταν μόνο για την επικοινωνία των RTU με το master computer του ίδιου κατασκευαστή και μόνο [11].

Η διασύνδεση μεταξύ διαφορετικής προέλευσης RTU και master computers δεν ήταν δυνατή, αλλά οι ανάγκες της βιομηχανίας ανάγκασαν τους κατασκευαστές να ξεπεράσουν αυτό το μειονέκτημα και με αυτόν τον τρόπο να εξελιχθούν και να αναπτυχθούν τα συστήματα δεύτερης γενιάς.



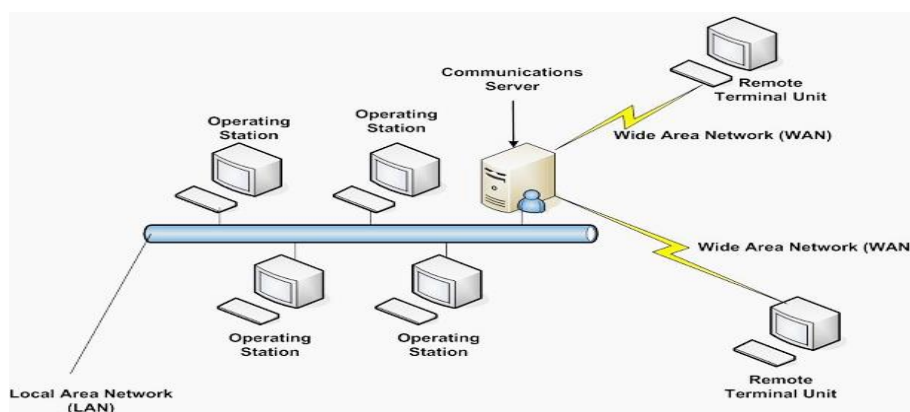
Εικόνα 14: Μονολιθικό σύστημα SCADA – 1^η γενιά [11]

4.3.2 Κατανεμημένα συστήματα (Distributed Systems)

Η ανάπτυξη και εξέλιξη των τοπικών δικτύων υπολογιστών (LANs – Local Area Networks) αποτέλεσαν τον παράγοντα κλειδί για την εμφάνιση των κατανεμημένων συστημάτων SCADA. Η βασική διαφορά σε σχέση με τα μονολιθικά συστήματα είναι ότι πλέον χρησιμοποιούνται πολλαπλοί σταθμοί, καθένας εκ των οποίων επιτελεί μια διαφορετική λειτουργία στο δίκτυο. Έτσι, για παράδειγμα υπάρχουν σταθμοί υπεύθυνοι για την επικοινωνία του συστήματος (communication processors), σταθμοί επεξεργασίας των δεδομένων (calculation processors), εξυπηρετητές βάσεων δεδομένων (database servers) κ.α. Αυτές οι κατανεμημένες υπολογιστικές μονάδες είχαν τη δυνατότητα να ανταλλάσσουν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο μέσω του δικτύου LAN. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται καταμερισμός των διεργασιών του συστήματος SCADA σε πολλαπλούς σταθμούς εργασίας οι οποίοι είναι μικρότεροι και πιο οικονομικοί από mainframe συστήματα της 1^{ης} γενιάς.

Το δίκτυο LAN που υποστήριζε αυτού του είδους τα συστήματα βασιζόταν σε πρωτόκολλα επικοινωνίας που είχαν αναπτυχθεί από εταιρίες εμπορίας και σχεδίασης τέτοιων εφαρμογών, προσδίδοντας στο δίκτυο αυξημένη ταχύτητα επικοινωνίας, αξιοπιστία και βελτιστοποίηση δρομολόγησης σε πραγματικό χρόνο. Παρόλα αυτά της οι συσκευές που ήταν συνδεδεμένες στο SCADA LAN δεν είχαν τη δυνατότητα να επικοινωνούν με τις εξωτερικές συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούσαν διαφορετικά πρωτόκολλα. Επομένως τα συστήματα ήταν κατανεμημένα και μπορούσαν να επικοινωνούν το ένα με το άλλο αλλά μόνο μέσω πρωτοκόλλων που είχαν αναπτυχθεί

από συγκεκριμένους κατασκευαστές που είχαν προμηθεύσει τον εξοπλισμό, περιορίζοντας τη σύνδεση του συστήματος με συσκευές άλλων κατασκευαστών στο τοπικό δίκτυο SCADA LAN [11].



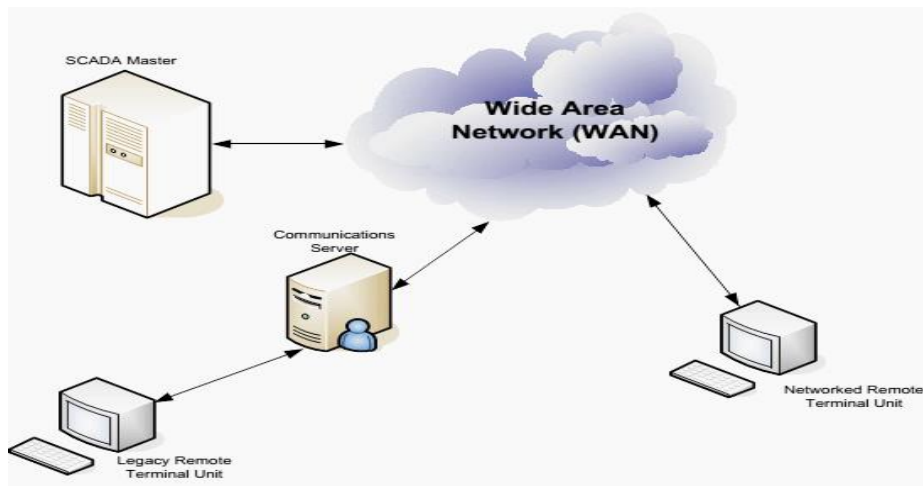
Εικόνα 15: Κατανεμημένα συστήματα SCADA – 2^η γενιά [11]

4.3.3 Δικτυωμένα συστήματα (Networked systems)

Η ολοένα και μεγαλύτερη ανάπτυξη των βιομηχανικών μονάδων, η αυξημένη ανάγκη για αυτοματοποίηση καθώς και το άνοιγμα της αγοράς των συστημάτων αυτοματισμού και ελέγχου με την εισαγωγή νέων εταιριών και προμηθευτών οδήγησε στο επόμενο βήμα την εξέλιξη των συστημάτων SCADA κα ουσιαστικά στην εμφάνιση των δικτυωμένων συστημάτων (networked systems).

Η Τρίτη γενιά συστημάτων έχει ομοιότητες με τα συστήματα της προηγούμενης γενιάς, παρατηρείται όμως μια σημαντική διαφορά. Αυτή η διαφορά είναι ότι τα νέα συστήματα SCADA είναι κατά βάση συστήματα ανοικτής αρχιτεκτονικής σε σχέση με τα συστήματα της 2^{ης} γενιάς τα οποία περιορίζονται από αρχιτεκτονικές και πρωτόκολλα ελεγχόμενα από συγκεκριμένους προμηθευτές. Σε αυτό το είδος των συστημάτων η επικοινωνία βασίζεται σε ανοιχτά πρωτόκολλα που επιτρέπουν της λειτουργίες του συστήματος SCADA να είναι κατανεμημένες σε δίκτυα ευρείας περιοχής (WANs – Wide Area Networks) και όχι σε ένα περιορισμένο τοπικό δίκτυο LAN. Έτσι ο κύριος παράγοντας που βοήθησε στην ανάπτυξη των συστημάτων 3^{ης} γενιάς ήταν η χρήση πρωτοκόλλων επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται σε WAN δίκτυα όπως το Πρωτόκολλο Διαδικτύου (IP – Internet Protocol) για επικοινωνίες μεταξύ master station και περιφερειακών [11].

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των δικτυωμένων SCADA συστημάτων είναι ότι με τη διανομή της επεξεργασίας σε διαφορετικούς σταθμούς, είναι δυνατόν ένα σύστημα να αντέξει την απώλεια ενός επιμέρους στοιχείου του, ακόμη και του κεντρικού σταθμού, πράγμα πολύ σημαντικό για μεγάλες επιχειρήσεις και βιομηχανίες όπου το σύστημα SCADA υποστηρίζει εξαιρετικά κρίσιμες λειτουργίες.



Εικόνα 16: Δικτυωμένα συστήματα SCADA – 3^η γενιά [11]

Αυτή η εξέλιξη ανάγκασε τις εταιρίες που ανέπτυξαν εφαρμογές για συστήματα SCADA να ενσωματώσουν σε αυτές νέες δυνατότητες, δημιουργώντας καινούργιες υπολογιστικές πλατφόρμες και λογισμικά.

Στην κατεύθυνση αυτή το 1996 ιδρύεται η βιομηχανική κοινοπραξία OPC (Open Platform Communication) σκοπός της οποίας είναι ειδικά πρωτόκολλα PLC της το Modbus, το Profibus και άλλα να τυποποιηθούν σε ένα περιβάλλον εργασίας που επιτρέπει συστήματα SCADA να διασυνδέονται με συσκευές από διάφορους προμηθευτές, χρησιμοποιώντας ανοικτά πρότυπα και πρωτόκολλα.

Το OPC αποτελεί το πρότυπο δια λειτουργικότητας για την ασφαλή και αξιόπιστη ανταλλαγή δεδομένων στον χώρο του βιομηχανικού αυτοματισμού αλλά και της βιομηχανίες. Αυτή η ανεξάρτητη πλατφόρμα εξασφαλίζει την ομαλή ροή πληροφοριών μεταξύ συσκευών από πολλούς προμηθευτές. Το ίδρυμα OPC είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη και τη συντήρηση αυτού του προτύπου [12].

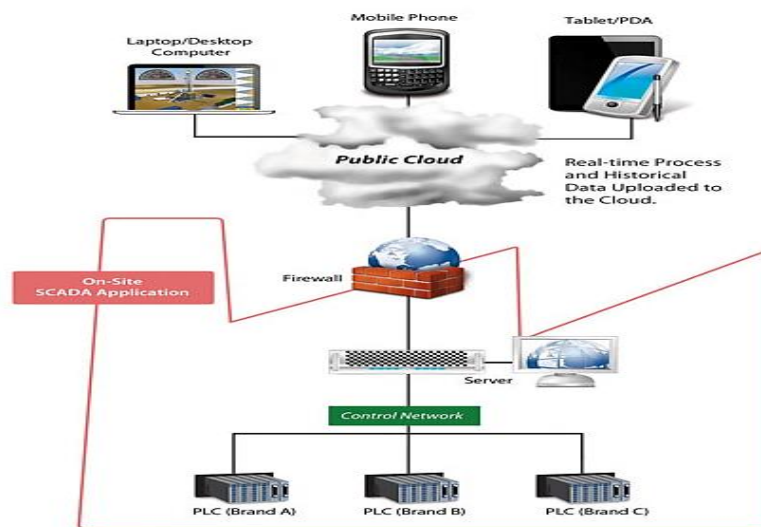
4.3.4 Διαδίκτυο των πραγμάτων & συστήματα SCADA (IoT – Internet of Things)

Το διαδίκτυο των πραγμάτων ή Internet of Things είναι μία έννοια που αναφέρεται στη δυνατότητα σύνδεσης μέσω του Internet απομακρυσμένων εποπτικών συσκευών σε μία υποδομή που ήδη υπάρχει. Το λεγόμενο υπολογιστικό νέφος (Cloud Computing) αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο πάνω στον οποίο βασίζεται η 4^η γενιά εξέλιξης των συστημάτων SCADA και αποτελεί μία συνεχώς αναπτυσσόμενη τάση στον σύγχρονο τεχνικό αλλά και επιχειρηματικό κόσμο.

Μέσω του cloud computing δίνεται η δυνατότητα σε διακομιστές (servers) που μπορεί να απέχουν χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά να λειτουργήσουν μέσα σε ένα δίκτυο. Η διασύνδεση αυτή δημιουργεί το λεγόμενο «σύννεφο» το οποίο αναπτύσσεται σε μία αφηρημένη γεωγραφική περιοχή πολλές φορές άγνωστη στον χρήστη που το

χρησιμοποιεί. Η επικοινωνία και η πρόσβαση σε αυτό το υπολογιστικό νέφος γίνεται μέσω του Internet προσφέροντας με αυτό τον τρόπο δυνατότητες κεντρικής αποθήκευσης των δεδομένων, επεξεργασία αυτών αλλά και ταυτόχρονης πρόσβασης σε υπηρεσίες από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου.

Οι πρωτόγνωρες αυτές δυνατότητες που προσφέρει η τεχνολογία του IoT κάνει τα συστήματα SCADA να προσαρμόζονται και να την υιοθετούν όλο και περισσότερο, εξασφαλίζοντας σημαντική μείωση του κόστους υποδομών και συντήρησης και αυξάνοντας ταυτόχρονα την αμεσότητα στην πρόσβαση και στην εποπτεία των βιομηχανικών συστημάτων.



Εικόνα 17: Συστήματα SCADA και IoT αρχιτεκτονική

4.4 Στοιχεία που αποτελούν το σύστημα SCADA

Μέσα από την πορεία εξέλιξης τους τα τελευταία 50 χρόνια τα συστήματα SCADA έχουν πλέον λάβει μια σταθερή δομή. Η δομή αποτελείται από διάφορα στοιχεία καθένα από αυτά έχει ένα συγκεκριμένο ρόλο και επιτελεί μία συγκεκριμένη λειτουργία. Τα σύγχρονα συστήματα αποτελούνται από τα ακόλουθα βασικά στοιχεία [\[13\]](#).

- a) RTU
- b) PLC
- c) Telemetry System
- d) Data Acquisition Server
- e) HMI
- f) Historian Service
- g) Supervisory Station

4.4.1 Τερματικές μονάδες (Remote Terminal Units – RTUs)

Η κύρια λειτουργία των μονάδων RTU είναι η συλλογή δεδομένων από διάφορους αισθητήρες που είναι εγκατεστημένοι στο πεδίο, η μετατροπή των δεδομένων αυτών σε ψηφιακά δεδομένα και η αποστολή τους μέσω του συστήματος τηλεμετρίας στο σύστημα εποπτικού ελέγχου. Επιπλέον μια μονάδα RTU θα πρέπει να είναι σε θέση να λαμβάνει εντολές από το εποπτικό σύστημα και προαιρετικά να εκτελεί απλές δυαδικής λογικής (Boolean logic) εντολές μέσω μικροελεγκτών που φέρει.



Εικόνα 18: RTU

4.4.2 Programable Logic Controller – PLC

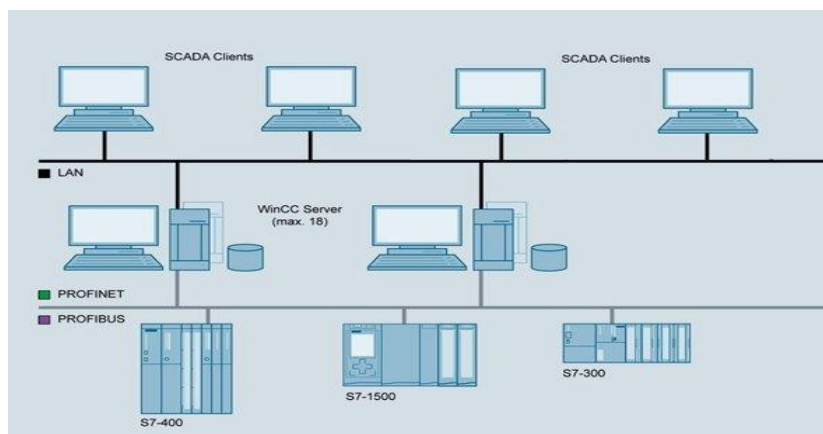
Το PLC όμοια με το RTU είναι ένα ψηφιακό υπολογιστικό σύστημα που αποτελείται από μικροεπεξεργαστές μέσω των οποίων έχει την ικανότητα επεξεργασίας των δεδομένων που συλλέγει από αισθητήρες και επενεργητές αλλά και τη δυνατότητα εκτέλεσης τόσο απλών όσο και σύνθετων λογικών συναρτήσεων και λειτουργιών ελέγχου. Η κύρια διαφορά του με το RTU είναι ότι είναι πολύ πιο εξελιγμένο και προσφέρει τοπικό έλεγχο της διεργασίας. Ένα PLC ενσωματώνει ένα σύνολο ψηφιακών και αναλογικών εισόδων και εξόδων μέσω των οποίων επικοινωνεί με τα στοιχεία που καλείται να ελέγξει (ηλεκτροκινητήρες, βαλβίδες κ.α.). Είναι ικανό να ανταλλάσσει πληροφορίες τόσο με άλλα PLC όσο και με το κεντρικό σύστημα εποπτικού ελέγχου μέσω διάφορων πρωτοκόλλων. Αρκετές φορές σε ένα PLC υπάρχει η δυνατότητα να συνδεθεί ένα στοιχείο διεπαφής ανθρώπου – υπολογιστή (Human – Machine Interface) δηλ. μια οθόνη με το κατάλληλο λογισμικό και επομένως ο σταθμός να μπορεί να ελέγχεται τοπικά εφόσον το σύστημα εποπτικού ελέγχου το επιτρέπει. Τα PLCs εξαιτίας του μικρότερου μεγέθους και των εξελιγμένων δυνατοτήτων είναι πιο οικονομικά σε σχέση με τα μεγαλύτερου μεγέθους RTUs και άρα ευρέως διαδεδομένα σε σύγχρονα συστήματα SCADA.



Εικόνα 19: PLC S7-1200 της εταιρίας SIEMENS

4.4.3 Σύστημα Τηλεμετρίας (Telemetry System)

Ο όρος σύστημα τηλεμετρίας σχετίζεται με τα πρωτόκολλα επικοινωνίας και τα φυσικά κανάλια πάνω στα οποία διακινούνται δεδομένα μεταξύ σταθμών του συστήματος SCADA και μεταξύ σταθμών και κεντρικού συστήματος. Στο δίκτυο του κεντρικού υπολογιστή με τους υπόλοιπους χρήστες, δηλαδή στο πληροφοριακό δίκτυο, χρησιμοποιούνται πρωτόκολλα όπως το Ethernet, το Token ring κ.α. Από την άλλη στο δίκτυο των περιφερειακών συσκευών (PLCs, RTUs), δηλαδή στο βιομηχανικό δίκτυο, εφαρμόζονται πρωτόκολλα όπως το Modbus, το Profibus, το Profinet και άλλα όπως το RS-232 και το RS-485. Το τηλεπικοινωνιακό κανάλι του συστήματος τηλεμετρίας ποικίλει ανάλογα την περίπτωση και μπορεί να είναι τηλεφωνικά καλώδια, κάρτες δικτύου WAN ή και ασύρματα συστήματα με διασύνδεση Wi-Fi, μικροκύματα ακόμα και δορυφορική σύνδεση ειδικά όταν πρόκειται για ελεγκτικά συστήματα μεγάλης έκτασης.



Εικόνα 20: Παράδειγμα διασύνδεσης στοιχείων σε δίκτυο συστήματος SCADA

4.4.4 Διακομιστής απόκτησης δεδομένων και αποθήκευσης ιστορικού (Data Acquisition Server)

Ο διακομιστής απόκτησης δεδομένων αποτελεί ένα από τα βασικά δομικά στοιχεία του συστήματος SCADA. Βασίζεται στην αρχιτεκτονική client – server και επιτρέπει

στους clients να έχουν πρόσβαση σε δεδομένα που συλλέγονται από τα PLCs και τα RTUs. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τον data acquisition server αποθηκεύονται σε βάσεις δεδομένων με χρονοσήμανση. Τα δεδομένα αυτά μπορεί να είναι διαφόρων τύπων όπως Boolean data, integers, alarms η άλλου είδους πληροφορίες που συλλέγονται από το σύστημα. Η αποθήκευση όλων αυτών των πληροφοριών σε βάσεις δεδομένων επιτρέπει σε διάφορους clients του συστήματος να εκτελούν ερωτήματα (queries) στις βάσεις δεδομένων και να εξάγουν πολύτιμες πληροφορίες σε μορφή στατιστικών στοιχείων, διαγραμμάτων, ιστογραμμάτων, πινάκων κ.α. τα οποία μπορούν να αναπαρασταθούν σε οθόνες HMI του συστήματος SCADA.

4.4.5 Διεπαφή ανθρώπου μηχανής (Human Machine Interface – HMI)

Η διεπαφή ανθρώπου μηχανής αποτελείται από κάποιο hardware, της για παράδειγμα μια οθόνη, καθώς και από μία εφαρμογή που τρέχει σε αυτή τη συσκευή και έχει δημιουργηθεί μέσω ειδικών πακέτων λογισμικού με σκοπό την παρουσίαση δεδομένων που συγκεντρώνονται από μονάδες PLC και RTU. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δυνατότητα στον διαχειριστή της διεργασίας να αλληλεπιδράσει με αυτή μέσω μιμικών διαγραμμάτων στα οποία ο διαχειριστής μπορεί να δει μία σχηματική αναπαράσταση της μονάδας που ελέγχεται. Στα συστήματα SCADA οι HMI εφαρμογές περιλαμβάνουν συνήθως οπτικοποιημένα αντικείμενα με τη μορφή push buttons, text displays, operator panels, touch panels κ.α. Συνεπώς τα HMI αποτελούν ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής του χρήστη με τη διεργασία (Graphical User Interface – GUI) το οποίο συγκεντρώνει δεδομένα από data acquisition servers και μέσω επεξεργασίας τα αναπαριστά σε γραφικά αντικείμενα, διαγράμματα, μηνύματα alarm και σημάνσεις.

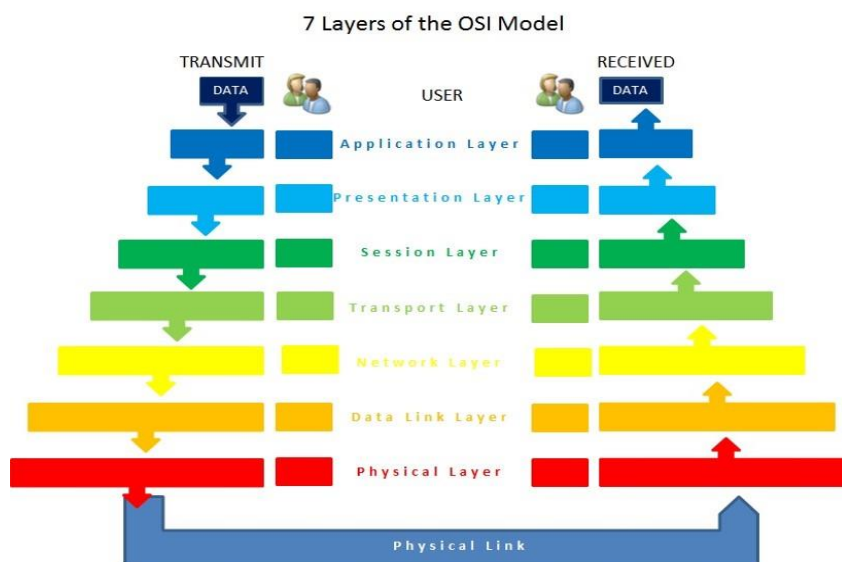
4.4.6 Κεντρική Τερματική Μονάδα (Master Terminal Unit – MTU)

Πρόκειται για το κύριο μέρος του συστήματος SCADA. Αποτελείται από ένα υπολογιστικό σύστημα το οποίο εμπεριέχει ειδικό λογισμικό, μέσω του οποίου λαμβάνονται δεδομένα που αποστέλλονται από διάφορα περιφερειακά συστήματα (αισθητήρες, PLC, RTU), εκτελούνται εντολές ελέγχου της της υπόλοιπες συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο του και υλοποιούνται αλγόριθμοι διάφορων διεργασιών που ελέγχονται. Γενικά μπορεί να ειπωθεί ότι είναι η καρδιά του συστήματος SCADA.

4.5 Πρωτόκολλα επικοινωνίας

Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας είναι ένα σύνολο κανόνων οι οποίοι εγκαθίστανται σε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο και καθορίζουν την ασφάλεια και την ορθότητα των

δεδομένων που ανταλλάσσονται μέσω του δικτύου. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στο βιομηχανικό δίκτυο μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά και έχουν κοινές αρχές λειτουργίας με τα κλασσικά πρωτόκολλα επικοινωνίας και είναι ικανά να παρέχουν στη βιομηχανική μονάδα αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων χωρίς σφάλματα και κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες. Σήμερα ο μεγαλύτερος αριθμός αυτών των πρωτοκόλλων επικοινωνίας βασίζεται στο διεθνές πρότυπο αναφοράς OSI – Open Systems Interconnection των 7 επιπέδων. Με τον τρόπο αυτό ένα δίκτυο επικοινωνίας γίνεται άμεσα επεκτάσιμο και παραμετροποιήσιμο παρέχοντας τη δυνατότητα σύνδεσης και ανταλλαγής δεδομένων με τις διάφορες συσκευές ελέγχου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικά από τα πιο ευρέως διαδεδομένα βιομηχανικά πρωτόκολλα επικοινωνίας που συναντάμε της περισσότερες βιομηχανικές μονάδες. Τέτοια πρωτόκολλα είναι το RS-232, το RS-485, το Modbus, το Profibus και το Profinet.



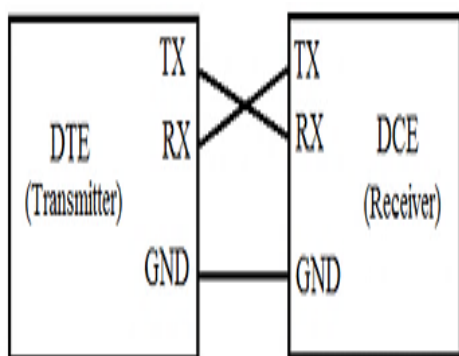
Εικόνα 21: Το μοντέλο OSI των 7 επιπέδων

4.5.1 Πρωτόκολλο RS-232

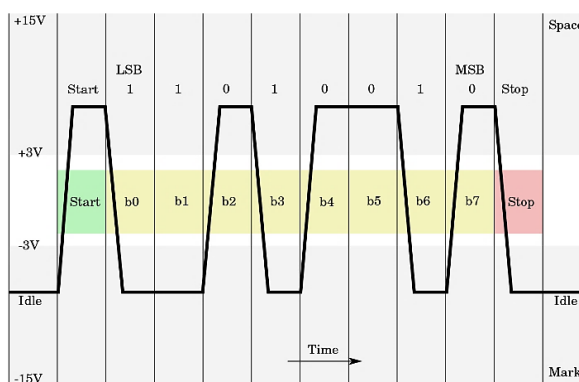
Στις τηλεπικοινωνίες το πρωτόκολλο RS-232 εισήχθη το 1960 για σειριακή μετάδοση δεδομένων. Το πρωτόκολλο αυτό καθορίζει τα σήματα που συνδέουν 2 συσκευές. Η πρώτη ονομάζεται τερματικός εξοπλισμός δεδομένων (Data Terminal Equipment – DTE) και μπορεί να είναι της τερματικός υπολογιστής και η δεύτερη ονομάζεται εξοπλισμός επικοινωνίας δεδομένων (Data Communication Equipment – DCE) και μπορεί να είναι για παράδειγμα ένα modem. Στα συστήματα βιομηχανικού αυτοματισμού είναι σύνηθες ένα PLC να δρα ως DTE συσκευή και ένα servo drive σαν μία DCE συσκευή. Τα βασικά στοιχεία της επικοινωνίας που καθορίζει το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και ο χρονισμός των σημάτων, η σημασία των ανταλλασσόμενων σημάτων, το φυσικό μέγεθος της και η λειτουργία της κάθε επαφής των βυσμάτων σύνδεσης. Αν και με το χρόνο το RS-232 χρησιμοποιείται όλο και λιγότερο για την επικοινωνία μεταξύ των υπολογιστών,

εντούτοις παραμένει δημοφιλές μεταξύ αρκετών τύπων PLC, συσκευών οδήγησης μεταβλητής συχνότητας (Variable Frequency Drive – VFD), servo drives και μηχανών CNC.

Στο πρωτόκολλο RS-232 τα δεδομένα στέλνονται με τη μορφή χρονοσειρών από δυαδικά ψηφία (bits) ενώ επιπλέον το συγκεκριμένο πρωτόκολλο υποστηρίζει τόσο τη σύγχρονη όσο και την ασύγχρονη μετάδοση δεδομένων. Ακόμη στο RS-232 χρησιμοποιούνται διαφορετικά κανάλια για μετάδοση και λήψη δεδομένων με αποτέλεσμα οι διεπαφές που το χρησιμοποιούν να λειτουργούν με πλήρη αμφίδρομο τρόπο επιτρέποντας μέσω 2 διαφορετικών καλωδιακών συνδέσεων ταυτόχρονη ροή δεδομένων και στις 2 κατευθύνσεις. Τα επίπεδα της ηλεκτρικής τάσης των σημάτων που αντιστοιχούν στο λογικό 1 και το λογικό 0 κυμαίνονται μεταξύ -13 έως -3 volts και +3 έως +13 volts αντίστοιχα σε σχέση πάντα με την κοινή γείωση [14]. Για της γραμμές μεταφοράς δεδομένων TxD και RxD το λογικό 1 αντιπροσωπεύεται με αρνητική τάση και η κατάσταση του σήματος ονομάζεται “mark”. Το λογικό 0 αντιπροσωπεύεται με θετική τάση και η κατάσταση του σήματος ονομάζεται “space”.



Εικόνα 22: Το πρωτόκολλο RS-232



Εικόνα 23: Διάγραμμα παλμών επιπέδων τάσης για τον ASCII χαρακτήρα “K” (0x4B) με 1 bit έναρξης, 8 bit δεδομένων (το λιγότερο σημαντικό bit πρώτα), 1 bit τερματισμού [15]

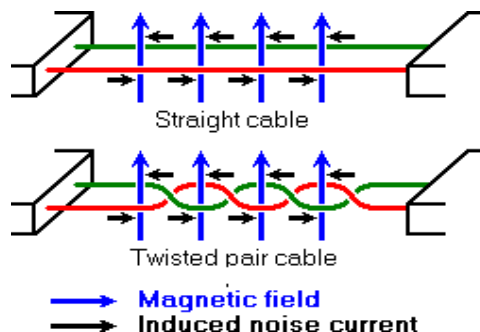
Η ταχύτητα μετάδοσης της πληροφορίας που υποστηρίζει το πρωτόκολλο RS-232 κυμαίνεται μεταξύ 100 – 20 Kbits/s με τη μέγιστη ταχύτητα των 20 Kbits/s να είναι εφικτή στα 15m. Συνήθη χρησιμοποιούμενοι ρυθμοί μετάδοσης είναι τα 2.4 Kbits, τα 9.6 Kbits και τα 19.2 Kbits.

Όσον αφορά τον τύπο των βυσμάτων σύνδεσης, το RS-232 συνιστά τον τύπο DB-25 επειδή της η πλειοψηφία των συσκευών χρησιμοποιούν πολύ λιγότερα από τα 20 σήματα που καθορίζονται από το πρωτόκολλο, καλώδια και βύσματα με λιγότερα pins είναι πιο διαδεδομένα. Έτσι το βύσμα DE-9M έχει αντικαταστήσει το αρχικό DB-25 της περισσότερες εφαρμογές μιας και είναι πιο οικονομικό και περισσότερο βολικό για της περισσότερες συσκευές που χρησιμοποιούν το RS-232.

4.5.2 Πρωτόκολλο RS-485

Όμοια με τον προκάτοχο του (RS-232) το πρωτόκολλο RS-485 είναι ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας που καθορίζει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά μετάδοσης των σημάτων μεταξύ αποστολέων και δεκτών.

Το RS-485 δημιουργήθηκε κατά κάποιον τρόπο για να βελτιώσει καταστάσεις της οποίες το προηγούμενο πρωτόκολλο RS-232 παρουσίαζε αδυναμίες. Ένα από τα κύρια προβλήματα που αντιμετωπίζει το RS-232 είναι η μικρή ανοσία που παρουσιάζει σε γραμμές μεταφοράς σημάτων με αυξημένο θόρυβο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο συγκεκριμένο πρωτόκολλο τόσο ο πομπός όσο και ο δέκτης συγκρίνουν τα επίπεδα της τάσης των σημάτων που αναπαριστούν τα δεδομένα με την κοινή γείωση. Έτσι μικρές μεταβολές στο επίπεδο της γείωσης, που αποτελεί το σημείο αναφοράς μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα. Το γεγονός αυτό έχει ως συνέπεια ο θόρυβος να περιορίζει σημαντικά τόσο τη μέγιστη απόσταση μετάδοσής των δεδομένων όσο και την ταχύτητα επικοινωνίας. Σε αντίθεση το RS-485 δεν αντιμετωπίζει παρόμοια προβλήματα καθώς στο RS-485 τα σήματα επικοινωνίας είναι μεταβλητά και κάθε σήμα μεταδίδεται ταυτοχρόνως πάνω σε 2 γραμμές τις sig+ και sig-. Ο δέκτης των σημάτων στο RS-485 συγκρίνει τη διαφορά τάσης μεταξύ των δύο γραμμών (σχετική διαφορά) αντί της απόλυτης τάσης κάθε γραμμής με τη γείωση. Αυτό εμποδίζει την εμφάνιση βρόχων γείωσης, κάτι που αποτελεί αιτία πολλών προβλημάτων. Μάλιστα η τεχνική της συστροφής του ζεύγους των καλωδίων που χρησιμοποιεί το RS-485 διευκολύνει κατά πολύ τα πράγματα [16].



Εικόνα 24: Η παρουσία θορύβου σε κανονικό και συνεστραμμένου ζεύγους καλώδιο

Στην παραπάνω εικόνα τα ρεύματα θορύβου, που δημιουργούνται από τα μαγνητικά πεδία που αναπτύσσονται κοντά στα καλώδια επικοινωνίας, έχουν σαν αποτέλεσμα όταν δεν χρησιμοποιείται η τεχνική του συνεστραμμένου ζεύγους των καλωδίων να κινούνται στην ίδια κατεύθυνση και πρακτικά να δημιουργούνται ρεύματα βρόχου. Αντίθετα στα καλώδια συνεστραμμένου ζεύγους αυτού του είδους τα ρεύματα θορύβου αλληλοεξουδετερώνονται γιατί τμηματικά έχουν αντίθετες κατευθύνσεις.

Οι παραπάνω τεχνικές της διαφορικής μετάδοσης των σημάτων και της συστροφής του ζεύγους των καλωδίων μετάδοσης δίνουν τη δυνατότητα στο πρωτόκολλο RS-485 να επιτυγχάνει ταχύτητες μετάδοσης της τάξης των 10 Mbits/s και σε αποστάσεις έως 1.2km γεγονός που το κάνει ιδανικό για επικοινωνίες τοπικών δικτύων με πολλαπλές επικοινωνιακές συνδέσεις.

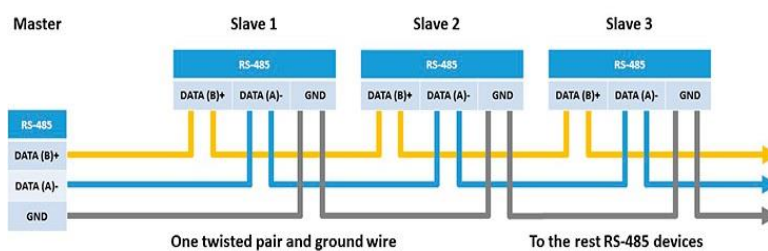
Το RS-485 καθορίζει μόνο τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της σύνδεσης μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη και ουσιαστικά αποτελεί το επίπεδο 1 (physical layer) του μοντέλου OSI. Δεν καθορίζει κανένα πρωτόκολλο επικοινωνίας καθώς άλλα πρότυπα ορίζουν τα πρωτόκολλα επικοινωνίας πάνω σε μία RS-485 σύνδεση.

Σε σχέση με την τοπολογία που χρησιμοποιείται το RS-485 θα πρέπει να αναφερθεί ότι εφαρμόζεται σε γραμμικές τοπολογίες διαύλου (linear data bus) χρησιμοποιώντας μόνο δύο κανάλια. Οι συσκευές που βρίσκονται κατά μήκος του διαύλου αποκαλούνται κόμβοι ή σταθμοί. Στα περισσότερα πρωτόκολλα υψηλού επιπέδου ένας εκ των κόμβων καθορίζεται ως master ο οποίος στέλνει ερωτήματα (queries) η εντολές πάνω στο δίαυλο RS-485 ενώ όλοι οι υπόλοιποι κόμβοι λαμβάνουν τα δεδομένα αυτά. Αναλόγως της πληροφορίας που αποστέλλεται σε πακέτα δεδομένων οι περισσότεροι κόμβοι του διαύλου ανταποκρίνονται στον master. Στην περίπτωση αυτή το εύρος ζώνης (bandwidth) αγγίζει σχεδόν το 100%. Εντούτοις υπάρχουν και υλοποιήσεις του RS-485 σε δίκτυα όπου κάθε κόμβος μπορεί αν ξεκινήσει μία συνεδρία δεδομένων από μόνος του. Σε αυτή την περίπτωση μόνο το 37% του εύρους ζώνης χρησιμοποιείται αποτελεσματικά. Σε αυτές της υλοποιήσεις του RS-485 είναι απαραίτητη η εφαρμογή μηχανισμών διόρθωσης σφαλμάτων προκειμένου να ανιχνευθούν τα λάθη και να σταλεί ξανά η πληροφορία αργότερα. Σε έναν τυπικό δίαυλο RS-485 μπορεί να συνδεθούν μέχρι 32 συσκευές.

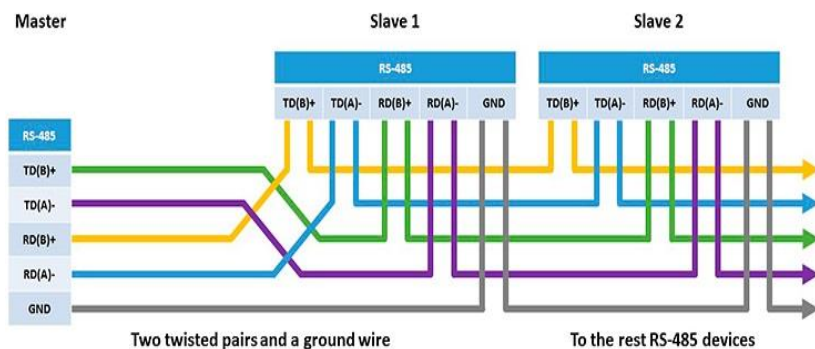
Δύο είναι οι τύποι του πρωτοκόλλου RS-485 που εφαρμόζονται και είναι οι εξής [17]:

- RS-485 half – duplex με 2 επαφές
- RS-485 full – duplex με 4 επαφές

Στη λειτουργία half – duplex γίνεται λήψη ή αποστολή δεδομένων σε κάθε χρονική στιγμή. Στη λειτουργία full – duplex γίνεται λήψη και αποστολή δεδομένων ταυτόχρονα την ίδια χρονική στιγμή.



Εικόνα 25: Half – duplex RS-485 με 2 επαφές



Εικόνα 26: Full– duplex RS-485 με 4 επαφές

Εν κατακλείδι το πρωτόκολλο RS-485 συχνά χρησιμοποιείται ως το επίπεδο 1 του μοντέλου OSI πάνω στο οποίο αναπτύσσονται μερικά από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα σειριακά πρωτοκολλά όπως το Profibus και το Modbus. Για το λόγο αυτό είναι ένα πρότυπο που θα χρησιμοποιείται για πολλά χρόνια ακόμη στο μέλλον.

4.5.3 Πρωτόκολλο Modbus

Το Modbus είναι ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας ανοικτού κώδικα που αναπτύχθηκε από την εταιρία Modicon (νυν Schneider Electric) το 1979. Χρησιμοποιείται για την επικοινωνία των συσκευών του βιομηχανικού δικτύου (PLCs, VFD, remote I/O modules κ.α.) και αποτελεί ίσως το πιο δημοφιλές πρωτόκολλο επικοινωνίας σε περιβάλλοντα βιομηχανικής παραγωγής λόγω των ακόλουθων χαρακτηριστικών του.

- Ευκολία στην υλοποίηση του και απλό στη χρήση του.
- Πρωτόκολλο ανοικτού κώδικα που υποστηρίζει μεγάλη γκάμα συσκευών διαφόρων κατασκευαστών.
- Ανάπτυξη ειδικά για βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο είναι ένα πρωτόκολλο του επιπέδου 7 στο μοντέλο OSI, δηλαδή εδράζεται στο επίπεδο εφαρμογής και ορίζει 2 τύπους συσκευών που επικοινωνούν. Αυτές οι συσκευές ονομάζονται Modbus Master και Modbus Slave.

Ο Modbus Master είναι η συσκευή η οποία στέλνει μηνύματα που ονομάζονται queries της έναν Modbus Slave και ο συγκεκριμένος Modbus Slave που έλαβε το μήνυμα απαντά στο μήνυμα που δέχτηκε από τον Modbus Master. Σε καμία περίπτωση ο Modbus Slave δεν μπορεί να ξεκινήσει από μόνος του μία συνεδρία εκπέμποντας πρώτος μήνυμα χωρίς να έχει προηγουμένως λάβει ένα query. Συνήθως ο Modbus Master είναι μία συσκευή που συγκεντρώνει παράλληλα δεδομένα από πολλούς περιφερειακούς σταθμούς. Ένας Modbus Master έχει τη δυνατότητα να επικοινωνεί μέχρι και με 247 Modbus Slaves οι οποίοι συνδέονται στο ίδιο δίκτυο

και στον καθένα αντιστοιχεί μία μοναδική διεύθυνση επικοινωνίας ή αναγνωριστικός αριθμός συσκευής ανάλογα με την περίπτωση.

Τα δεδομένα που διακινούνται πάνω στο δίκτυο Modbus και μπορεί να γράφονται σε μία συσκευή (write) η να διαβάζονται από μία συσκευή (read) ομαδοποιούνται σε καταχωρητές (registers). Οι τύποι καταχωρητών και οι τύποι δεδομένων που απαντώνται σε συσκευές του δικτύου Modbus είναι οι ακόλουθοι:

Object type	Access	Size	Address Space
Coil	Read-write	1 bit	00001 - 09999
Discrete input	Read-only	1 bit	10001 - 19999
Input register	Read-only	16 bits	30001 - 39999
Holding register	Read-write	16 bits	40001 - 49999

Εικόνα 27: Τύποι καταχωρητών του πρωτοκόλλου Modbus

Υπάρχουν διάφορες εκδόσεις του πρωτοκόλλου Modbus για επικοινωνία πάνω σε διαφορετικά είδη δικτύων. Οι κυριότερες από αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Modbus RTU για σειριακή επικοινωνία μέσω διεπαφής RS-485.
- Modbus ASCII για σειριακή επικοινωνία μέσω διεπαφής RS-485.
- Modbus TCP για επικοινωνία βάση του πρωτοκόλλου TCP/IP μέσω διεπαφής Ethernet.

Έτσι ανάλογα με τον τύπο του πρωτοκόλλου που εφαρμόζεται ορίζονται και διαφορετικές δομές πακέτων πληροφορίας για αποστολή και μετάδοση μηνυμάτων.

4.5.3.1 Modbus RTU

Το πακέτο πληροφορίας της μηνύματος Modbus RTU (Modbus frame) αποτελείται από τα εξής πεδία:

1. Slave ID, η οποία είναι η διεύθυνση της slave συσκευής που απευθύνεται το μήνυμα.
2. Κωδικός λειτουργίας (Function code), όπου αναφέρεται το είδος της λειτουργίας που πρόκειται να λάβει χώρα.
3. Δεδομένα (Data), που εξαρτώνται από τον κωδικό λειτουργίας που προηγείται.
4. CRC Checksum (Cyclic Redundancy Check), ο οποίος είναι ο μηχανισμός για τον έλεγχο σφαλμάτων της μεταδιδόμενης πληροφορίας.

Slave ID 1 byte	Function code 1 byte	Data n x 1 byte	CRC 2 bytes
-----------------	-------------------------	-----------------	-------------

Πίνακας 2: Frame Modbus RTU

Τα πεδία Function code και Data του πλαισίου Modbus RTU ονομάζονται Protocol Data Unit (PDU), ενώ όλο το πλαίσιο μαζί με τα πεδία Slave ID και CRC ονομάζονται Application Data Unit (ADU).

Όπως ήδη έχει αναφερθεί το πεδίο Slave ID μπορεί να πάρει τιμές από 0 – 247, ενώ οι τιμές 248 – 255 είναι δεσμευμένες.

Επιπλέον, οι πιο συχνά εμφανιζόμενοι κωδικοί λειτουργίας που αναγνωρίζονται από τις συσκευές Modbus συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα [18].

FUNCTION CODE	WHAT THE FUNCTION DOES		VALUE TYPE	ACCESS TYPE
01 (0x01)	Read DO	Read Coil Status	Discrete	Read
02 (0x02)	Read DI	Read Input Status	Discrete	Read
03 (0x03)	Read AO	Read Holding Registers	16 bit	Read
04 (0x04)	Read AI	Read Input Registers	16 bit	Read
05 (0x05)	Write one DO	Force Single Coil	Discrete	Write
06 (0x06)	Write one AO	Preset Single Register	16 bit	Write
15 (0x0F)	Multiple DO recording	Force Multiple Coils	Discrete	Write
16 (0x10)	Multiple AO recording	Preset Multiple Registers	16 bit	Write

Εικόνα 28: Κωδικοί λειτουργίας του πρωτοκόλλου Modbus

Επίσης είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι τα μηνύματα του πρωτοκόλλου Modbus χρησιμοποιούν τις διευθύνσεις των καταχωρητών που έχουν αναφερθεί προηγουμένως στην εικόνα 27. Για τον υπολογισμό όμως της διεύθυνσης του πρώτου καταχωρητή απ’ όπου θα ξεκινήσει η ανάγνωση ή η εγγραφή των δεδομένων θα πρέπει να γίνει η αφαίρεση του “ offset” που αποτελεί την διεύθυνση του πρώτου καταχωρητή κάθε κατηγορίας. Το ακόλουθο παράδειγμα αποσαφηνίζει τη διαδικασία.

Έτσι ένα αίτημα για ανάκτηση της τιμής των holding registers από τον καταχωρητή #40108 μέχρι τον #40110 μίας συσκευής με id 17 είναι το ακόλουθο.

11 03 006B 0003 7687

11	THE ADDRESS OF THE SLAVEID DEVICE (17 = 11 HEX)
03	Functional code Function Code
006B	The address of the first register (40108-40001 = 107 = 6B hex)
0003	The number of required registers (reading 3 registers from 40108 to 40110)
7687	CRC checksum

Εικόνα 29: Παράδειγμα μηνύματος ενός Modbus Master προς έναν Modbus Slave

Αντίθετα η απάντηση του Modbus Slave προς το αίτημα του Modbus Master είναι κάτι αντίστοιχο.

11 03 06 AE41 5652 4340 49AD

Where:

The value of the upper register bit

11	DEVICE ADDRESS (17 = 11 hex)	SlaveID
03	Function code	Function Code
06	The number of bytes further (6 bytes follow)	Byte Count
AE	The value of the upper register bit (AE hex)	Register value Hi (AO0)
41	The low-order bit of the register (41 hex)	Register value Lo (AO0)
56	The value of the upper register bit (56 hex)	Register value Hi (AO1)
52	The low-order bit of the register (52 hex)	Register value Lo (AO1)
43	The value of the upper register bit (43 hex)	Register value Hi (AO2)
40	The low-order bit of the register (40 hex)	Register value Lo (AO2)
49	Checksum	CRC value Hi
AD	Checksum	CRC value Lo

Εικόνα 30: Απάντηση του Modbus Slave στο αίτημα του Modbus Master

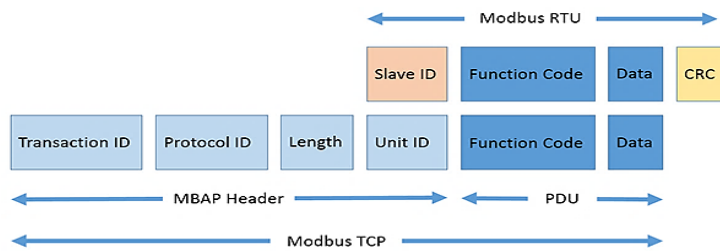
4.5.3.2 Modbus ASCII

Το Modbus ASCII είναι μία παλιότερη εφαρμογή που περιέχει όλα τα στοιχεία ενός πακέτου RTU, όμως εκφράζεται εξ ολοκλήρου σε εκτυπώσιμους χαρακτήρες ASCII. Το Modbus ASCII σήμερα θεωρείται παρωχημένο και χρησιμοποιείται σπάνια σε εφαρμογές.

4.5.3.3 Modbus TCP

Όπως σε κάθε δίκτυο Ethernet έτσι και σε ένα δίκτυο που επικοινωνεί βάσει του πρωτοκόλλου Modbus TCP κάθε συσκευή έχει μια μοναδική διεύθυνση που ονομάζεται Internet Protocol address (IP address). Στο πρωτόκολλο Modbus TCP το πρωτόκολλο μεταφοράς που χρησιμοποιείται είναι το TCP και η διεπαφή στο επίπεδο data link (επίπεδο 2) είναι μια Ethernet διεπαφή. Επιπλέον το TCP port που χρησιμοποιείται για το Modbus TCP είναι το port 502.

Ένα πακέτο πληροφορίας Modbus TCP αποτελείται από ένα μέρος του πλαισίου του Modbus RTU και συγκεκριμένα το PDU και από κάποια επιπρόσθετη επικεφαλίδα. Έτσι έχοντας απομακρύνει τα πεδία slave ID και CRC του πακέτου Modbus RTU έχει προστεθεί μία επικεφαλίδα 7-byte στην αρχή του PDU που ονομάζεται Modbus Application Header ή MBAP header. Η ακόλουθη εικόνα αποσαφηνίζει τη διαφορά αυτή [19].



Εικόνα 31: Το πλαίσιο (frame) ενός πακέτου πληροφορίας με βάση το Modbus TCP

Transaction identifier (Αναγνωριστικό συναλλαγής): Αποτελείται από **2-bytes** που ορίζονται από τον Modbus Master με σκοπό να αναγνωρίζεται μοναδικά κάθε αίτημα. Αυτά τα bytes επαναλαμβάνονται από τη συσκευή Slave στην απόκριση προς την συσκευή Master.

Protocol identifier (Αναγνωριστικό πρωτοκόλλου): Αποτελείται από **2-bytes** που ορίζονται από τον Master και είναι πάντα το 0000 τα οποία αντιστοιχούν στο πρωτόκολλο Modbus.

Length (Μήκος): Αποτελείται από **2-bytes** που ορίζονται από τον Master και προσδιορίζει τον αριθμό των bytes στο μήνυμα που ακολουθεί. Προσμετράτε από το αναγνωριστικό μονάδας (unit identifier) μέχρι το τέλος του μηνύματος.

Unit identifier (Αναγνωριστικό μονάδας): Αποτελείται από **1-byte** που ορίζεται από τον Master και επαναλαμβάνεται από τη συσκευή slave για την ταυτοποίηση της.

Σε αυτή την περίπτωση το παράδειγμα που αναφέρθηκε στο Modbus RTU εδώ έχει την ακόλουθη μορφή.

0001	Transaction identifier	Transaction Identifier
0000	Protocol identifier La	Protocol Identifier
0006	Length (6 bytes are followed)	Message Length
11	The device address (17 = 11 hex)	Unit Identifier
03	Function code (read Analog Output Holding Registers)	Function Code
006B	First address register (107 = 40108-40001 = 6B hex)	Data Address of the first register
0003	The number of required registers (read 3 registers 40108 by 40110)	The total number of registers

Εικόνα 32: Μήνυμα ενός Modbus Master προς έναν Modbus Slave βάση του πρωτοκόλλου Modbus TCP

Η απάντηση του Modbus Slave είναι η ακόλουθη.

0001	Transaction identifier	Transaction Identifier
0000	Protocol identifier	Protocol Identifier
0009	The length (9 bytes are followed)	Message Length
11	The device address (17 = 11 hex)	Unit Identifier
03	Function code (read Analog Output Holding Registers)	Function Code
06	The number of bytes later (6 bytes are followed)	Byte Count
02	Value of the high register bit (02 hex)	Register value Hi (AO0)
2B	Early discharge value register (2B hex)	Register value Lo (AO0)
00	Value of the high register bit (00 hex)	Register value Hi (AO1)
64	Value of the low register bit (64 hex)	Register value Lo (AO1)
00	Value of the high register bit (00 hex)	Register value Hi (AO2)
7F	Early discharge value register (7F hex)	Register value Lo (AO2)

Εικόνα 33: Απάντηση του Modbus Slave στο αίτημα του Modbus Master με βάση το Modbus TCP

4.5.4 Πρωτόκολλο Profibus

Το πρωτόκολλο Profibus (Process Field Bus) είναι ένα διεθνές πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως σε εποπτικά συστήματα μεγάλων βιομηχανιών και παρέχει επικοινωνία μεταξύ συσκευών που είναι εγκατεστημένες στο πεδίο εφαρμογής όπως αισθητήρες, επενεργητές, drives και των ελεγκτών όπως τα PLCs. Αποτελεί και αυτό ένα σειριακό πρωτόκολλο επικοινωνίας ανοικτού κώδικα που εμπίπτει στο επίπεδο 7 του μοντέλου OSI. Αναπτύχθηκε το 1989 από το Γερμανικό Υπουργείο Ερευνάς και Τεχνολογίας – BMFT και χρησιμοποιήθηκε από την εταιρία Siemens ως βασικό βιομηχανικό πρωτόκολλο επικοινωνιών.

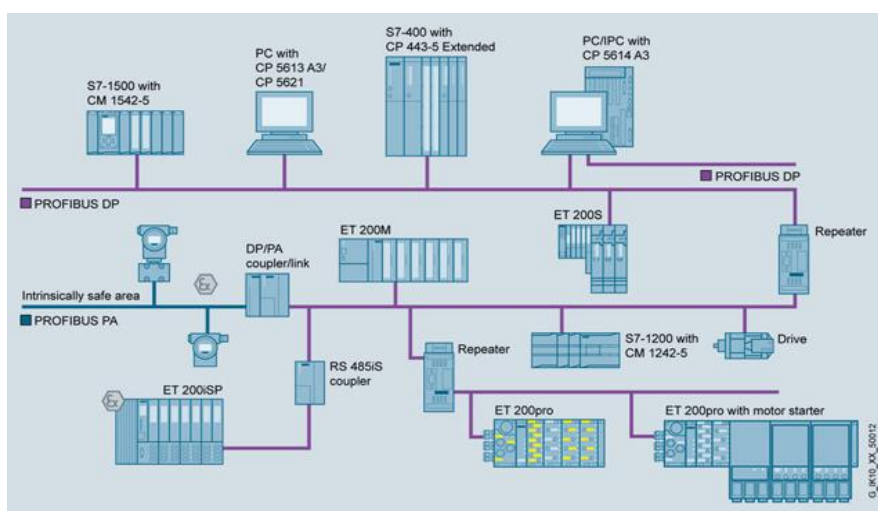
Τα δίκτυα που εφαρμόζουν το πρωτόκολλο Profibus χρησιμοποιούν τρία ξεχωριστά επίπεδα του μοντέλου OSI [20].

Αρχικά το Profibus καθορίζει το επίπεδο εφαρμογής (layer 7). Εδώ υπάρχουν αρκετές εκδόσεις του πρωτοκόλλου οι οποίες διαχειρίζονται διαφορετικούς τύπους μηνυμάτων όπως κυκλική μετάδοση δεδομένων και διαγνωστικά μηνύματα, ακυκλική μετάδοση δεδομένων και χειρισμό εκτάκτων καταστάσεων (alarm handling) και ισόχρονη μετάδοση και ανταλλαγή δεδομένων.

Επιπλέον το πρωτόκολλο Profibus δεν καθορίζει τα επίπεδα 3 έως 6 του μοντέλου OSI αλλά ωστόσο ορίζει το επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων (data link layer) και το φυσικό επίπεδο (physical layer). Έτσι στο επίπεδο διασύνδεσης δεδομένων συνδυάζεται η αρχιτεκτονική master – slave και ο μηχανισμός token passing. Οι συσκευές master που συνήθως είναι τα PLCs στέλνουν ερωτήματα στους slaves που είναι συνήθως αισθητήρες, επενεργητές, drives, VFDs κτλ. Αντίστοιχα οι συσκευές slave ανταποκρίνονται στα αιτήματα των συσκευών master. Επιπρόσθετα, οι συσκευές master για να πάρουν τον έλεγχο του bus χρησιμοποιούν ένα frame (πλαίσιο) που ονομάζεται token το οποίο κυκλοφορεί πάνω στον δίαυλο και μόνο η συσκευή που έχει τον έλεγχο του μπορεί κάθε φορά να στείλει ένα πακέτο δεδομένων πάνω στον δίαυλο. Όταν το πακέτο φτάσει στον παραλήπτη του τότε η συσκευή master που έστειλε το πακέτο αποδεσμεύσει το token.

Τέλος το Profibus καθορίζει το φυσικό επίπεδο (layer 1) και οι συσκευές που επικοινωνούν βάσει του Profibus μπορούν να έχουν 3 διαφορετικά μέσα μετάδοσης. Το πρώτο είναι τα καλώδια συνεστραμμένου ζεύγους όταν χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο RS-485. Το δεύτερο μέσο μετάδοσης είναι τα καλώδια οπτικών ινών σε εφαρμογές που αυτός ο τρόπος επικοινωνίας είναι πιο κατάλληλος. Τρίτος μηχανισμός είναι ένα βελτιωμένο σύστημα ασφαλείας που ονομάζεται Manchester Bus Powered – MBP. Σε αυτόν τον μηχανισμό δεδομένα και ισχύς μεταφέρονται από κοινού πάνω στο δίαυλο και συνήθως χρησιμοποιείται σε επικίνδυνα περιβάλλοντα.

Σε επίπεδο τοπολογίας τα δίκτυα Profibus χρησιμοποιούν την τοπολογία διαύλου (bus). Σε αυτή την τοπολογία όλες οι συσκευές του δικτύου συνδέονται πάνω σε ένα κεντρικό δίαυλο που διατρέχει το δίκτυο εξαλείφοντας έτσι την ανάγκη για γραμμή πλήρους μήκους από τον κεντρικό ελεγκτή σε κάθε μεμονωμένη συσκευή.



Εικόνα 34: Τοπολογία ενός δικτύου Profibus

Από τεχνικής απόψεως το πρωτόκολλο Profibus μπορεί να υποστηρίξει μέχρι 127 κόμβους με την μέγιστη απόσταση από άκρο σε άκρο να είναι τα 27km. Η εμβέλεια αυτή επιτυγχάνεται με τη βοήθεια οπτικών ινών ως μέσου μετάδοσης και αναμεταδοτών (repeaters). Επιπλέον τα πακέτα δεδομένων που μεταφέρονται έχουν μέγεθος 244 bytes ανά κόμβο.

Υπάρχουν 3 διαφορετικές εκδόσεις του πρωτοκόλλου Profibus και αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Profibus DP (Decentralized Peripheral): Αυτή η έκδοση του Profibus επιτρέπει την ύπαρξη πολλαπλών master συσκευών σε κάθε μία εκ των οποίων αντιστοιχεί ένας αριθμός από συσκευές slave. Παρά το γεγονός ότι όλες οι συσκευές τύπου master έχουν πρόσβαση σε όλες τις συσκευές slave μόνο η κύρια συσκευή master στην οποία αντιστοιχεί η εκάστοτε slave μπορεί να εγγράψει δεδομένα σε αυτή. Η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων του Profibus DP κυμαίνεται μεταξύ 9.6 Kbits/s και 12 Mbits/s και όπως ήδη έχει

αναφερθεί μπορεί να υποστηρίξει μέχρι και 127 κόμβους συνδεδεμένους πάνω στον δίαυλο επικοινωνίας. Για την φυσική μετάδοση της πληροφορίας χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο RS-485 καθώς και συσκευές hub και αναμεταδότες προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός των κόμβων πάνω στο δίκτυο και να φτάσει τη μέγιστη τιμή των 127.

- Profibus FMS (Fieldbus Message Specification): Αυτή η έκδοση του Profibus χρησιμοποιεί μια peer-to-peer σύνδεση μεταξύ των κόμβων και μπορεί να υποστηρίξει ένα σύνολο 127 συσκευών πάνω στο bus οι οποίες μπορεί όλες να είναι τύπου master. Αυτή η έκδοση θεωρήθηκε περίπλοκη και δεν χρησιμοποιείται πλέον σήμερα.
- Profibus PA (Process Automation): Αυτή η έκδοση αποτελεί την νεότερη μορφή του Profibus, κύριο γνώρισμα της οποίας είναι ότι τα επίπεδα τάσης και έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος είναι χαμηλότερα ώστε να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις ασφάλειας βιομηχανικών εγκαταστάσεων σε επικίνδυνες περιοχές. Το μοντέλο Profibus PA χρησιμοποιεί καλώδια συνεστραμμένου ζεύγους τόσο για τη μεταφορά των δεδομένων όσο και την παροχή ισχύος με την ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων στο δίκτυο να είναι 31.25 Kbits/s. Οι συσκευές που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο Profibus PA δεν συνδέονται απευθείας με τον κεντρικό ελεγκτή, αλλά παρεμβάλλεται μεταξύ αυτού και των συσκευών του Profibus PA ένα ταχύτερο δίκτυο όπως για παράδειγμα το Profibus DP και η σύνδεση επιτυγχάνεται μέσω κατάλληλων συνδέσμων (couplers).

4.5.5 Πρωτόκολλο Profinet

Το Profinet (Process Field Net) αποτελεί ένα βιομηχανικό πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο βασίζεται στο Industrial Ethernet που αποτελεί την έκδοση του πρωτοκόλλου Ethernet για το βιομηχανικό περιβάλλον. Έτσι το Profinet I/O χρησιμοποιεί το υλικό και λογισμικό του κλασσικού Ethernet για να καθορίσει ένα δίκτυο με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων, alarm και διαγνωστικών μηνυμάτων μεταξύ των PLC και των άλλων συσκευών του βιομηχανικού δικτύου.

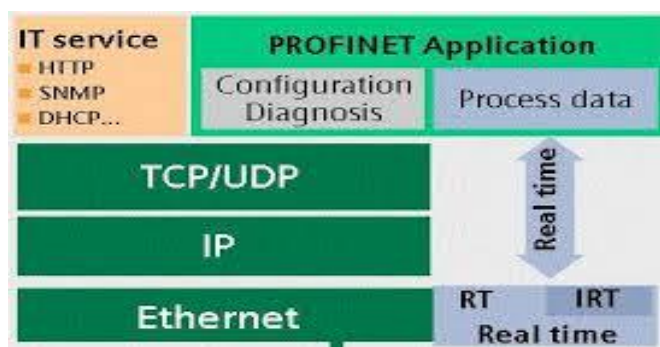
Αναλυτικότερα το πρωτόκολλο Profinet καθορίζει 3 είδη συσκευών που συνδέονται στο δίκτυο και αυτά είναι τα εξής [\[21\]](#):

- I/O Controller, οι οποίοι τυπικά είναι τα PLCs τα οποία εκτελούν τα προγράμματα αυτοματισμού και ελέγχου των διεργασιών.
- I/O Devices, είναι οι συσκευές που εφαρμόζονται στο πεδίο και ελέγχονται από τους I/O Controllers. Τέτοιες συσκευές μπορεί να είναι remote I/O modules, drives, αισθητήρες, επενεργητές κλπ.
- I/O Supervisor, το οποίο είναι ουσιαστικά το λογισμικό που είναι εγκατεστημένο σε ένα PC, με σκοπό να θέτει παραμέτρους και να λαμβάνει διαγνωστικά μηνύματα από τις I/O Devices.

Σκοπός της ανάπτυξης του πρωτοκόλλου Profinet είναι η αξιόπιστη και γρήγορη ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των συσκευών που συνδέονται στο δίκτυο. Η αρχιτεκτονική ενός δικτύου Profinet βασίζεται στο μοντέλο Provider – Consumer όπου το ρόλο των provider έχουν οι I/O Devices ενώ το ρόλο των consumers οι συσκευές I/O controllers.

Το πρωτόκολλο Profinet I/O χρησιμοποιεί 3 διαφορετικά κανάλια επικοινωνίας για την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ I/O Controller και I/O Devices:

1. Το βασικό TCP/IP κανάλι το οποίο χρησιμοποιείται για παραμετροποίηση, διαμόρφωση (configuration) και για ακυκλικές ενέργειες ανάγνωσης/εγγραφής.
2. Το κανάλι RT ή Real Time που χρησιμοποιείται για τυπική κυκλική μεταφορά δεδομένων και μηνυμάτων alarm. Οι επικοινωνίες RT παρακάμπτουν τα τυπικά επίπεδα TCP/IP του δικτύου Ethernet για να επισπεύσουν την ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των PLC και των field devices σε χρόνο που κυμαίνεται μεταξύ 1-10 ms.
3. Το τρίτο κανάλι είναι το Isochronous Real Time (IRT) και είναι το κανάλι πολύ υψηλής ταχύτητας που χρησιμοποιείται για εφαρμογές motion control.



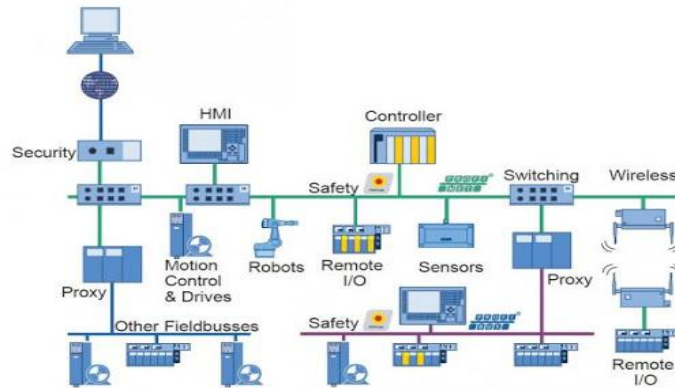
Εικόνα 35: Κανάλια επικοινωνίας του πρωτοκόλλου Profinet σε σχέση με το μοντέλο OSI

Η ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων πάνω σε ένα δίκτυο Profinet I/O μεταξύ ενός controller και των I/O devices είναι της τάξης των 100 Mbits/s όπως και το Fast Ethernet με την απόσταση μεταξύ των συσκευών να είναι πάνω από 100m. Εξαιτίας της υψηλής ταχύτητας μεταφοράς δεδομένων και του χρόνου απόκρισης (response time) που είναι < 1ms το δίκτυο Profinet είναι ιδανικό για εφαρμογές όπου απαιτούνται υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων. Επιπλέον είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι καθώς το Profinet χρησιμοποιεί σε μεγάλο βαθμό την τεχνολογία του Ethernet οι συσκευές ενός δικτύου Profinet έχουν τρεις τύπους διευθυνσιοδότησης στο δίκτυο.

- a. **IP διεύθυνση (IP address)**, η οποία καθορίζεται manually από τον διαχειριστή ή αυτόματα από τον DHCP server.

- b. **MAC διεύθυνση (MAC address)**, η οποία είναι μοναδική και καθορίζεται εργοστασιακά.
- c. **Όνομα συσκευής (Device name)**, που αποτελεί το όνομα που αναθέτει ο διαχειριστής του δικτύου Profinet και είναι μοναδικό για κάθε συσκευή του δικτύου.

Συμπερασματικά ένας μηχανικός αυτοματισμού θα πρέπει να δίνει μεγάλη σημασία στον καθορισμό των IP addresses και των device names ενός δικτύου Profinet προκειμένου να προλαμβάνονται τυχόν προβλήματα επικοινωνίας.



Εικόνα 36: Τοπολογία ενός δικτύου Profinet

4.6 Οφέλη από την χρήση συστημάτων SCADA

Έχοντας αναλύσει στο παρόν κεφάλαιο τον τρόπο που δομείται ένα σύστημα SCADA καθώς και τις τεχνολογίες που ενσωματώνει, κρίνεται σκόπιμο να γίνει μία αναφορά μέσω πρακτικών παραδειγμάτων στα οφέλη που τέτοια συστήματα προσδίδουν στο περιβάλλον μίας βιομηχανίας.

Ένα σύστημα SCADA λοιπόν παρέχει:

- Εξασφάλιση της βέλτιστης ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων λόγω της διατήρησης των συνθηκών λειτουργίας του εξοπλισμού στα ανεκτά όρια αλλά και του πολύ μικρού χρόνου εντοπισμού σφαλμάτων της παραγωγικής διαδικασίας.
- Παραμετροποίηση του συστήματος ώστε να ικανοποιούνται οι εξειδικευμένες ανάγκες του εκάστοτε χρήστη.
- Επεκτασιμότητα μέσω διαφορών περιφερειακών συσκευών που εκτελούν μετρήσεις και έλεγχο και οι οποίες ενσωματώνονται στο κεντρικό σύστημα εποπτικού ελέγχου με πολύ χαμηλό κόστος.
- Εύκολη και κατανοητή για τους χειριστές του συστήματος εποπτεία της βιομηχανικής μονάδας. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί εύκολα χρησιμοποιώντας απλές οθόνες Η/Υ που τρέχουν κλασικά λειτουργικά συστήματα όπως τα Microsoft Windows μέσω εφαρμογών HMI.

- Γρήγορη ενημέρωση εκτάκτων καταστάσεων (alarms) και εντοπισμός προβλημάτων εν τη γενέσει τους μέσω μηνυμάτων που εκπέμπονται δικτύων Η/Υ και τηλεφώνων.
- Πρόσβαση και αποθήκευση μεγάλου όγκου πληροφορίας σε βάσεις δεδομένων με δυνατότητες ανάκτησης και σύγκρισης δεδομένων με στόχο την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων από τους μηχανικούς και τεχνικούς.
- Εύκολη ρύθμιση του απομακρυσμένου εξοπλισμού από απόσταση κάνοντας χρήση συνηθισμένων τεχνολογιών διαδικτύου και πρωτοκόλλων χωρίς τη φυσική παρουσία ανθρώπου στο χώρο.

Λαμβάνοντας υπόψιν τα παραπάνω δεδομένα στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση του τρόπου σχεδίασης ενός συγκεκριμένου συστήματος εποπτικού ελέγχου, για τις ανάγκες της βιομηχανίας «Kotronis Plastics SA».

Κεφάλαιο 5 - Τρόπος σχεδίασης συστήματος SCADA και επιλογή υλικών

Το παρόν κεφάλαιο αποτελεί ουσιαστικά την εισαγωγή για την παρουσίαση του συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής για λογαριασμό της εταιρίας «Kotronis Plastics SA». Στην ενότητα 5.1 γίνεται λόγος για τους στόχους και τις λειτουργίες που συμφωνήθηκε να επιτελεί το αναπτυχθέν σύστημα. Στη συνέχεια λαμβάνει χώρα μία σύντομη παρουσίαση του εξοπλισμού που εντάχθηκε στο σύστημα ο οποίος χωρίζεται σε 3 βασικές κατηγορίες α) IMM, β) αντλίες κυκλοφορίας νερού και γ) κεντρικό δίκτυο πεπιεσμένου αέρα και κενού. Ακολουθώντας, στις ενότητες 5.3 και 5.4 παρουσιάζονται τα σήματα εισόδου και εξόδου στο κεντρικό PLC του συστήματος για τα οποία περιγράφονται με λεπτομέρειες οι καταστάσεις που αντιπροσωπεύει η ενεργοποίησή τους. Εν συνεχεία περιγράφεται ο τρόπος που συλλέχθηκαν τα παραπάνω σήματα από τις μονάδες ελέγχου των συσκευών και γίνεται μία αναφορά στα πρωτόκολλα επικοινωνίας Euromap 12 και Euromap 67 που χρησιμοποιούν οι IMM που εντάχθηκαν στο σύστημα για την επικοινωνία τους με τα ρομπότ εξυπηρέτησης τους. Το παρόν κεφάλαιο κλείνει με την επιλογή των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή του συστήματος SCADA και την παρουσίαση των τεχνικών προδιαγραφών τους βάσει των οποίων επιλέχθηκαν.

5.1 Λειτουργίες του συστήματος SCADA

Το σύστημα που αναπτύχθηκε έχει ως σκοπό την παρακολούθηση του τρόπου λειτουργίας του κύριου εξοπλισμού του εργοστασίου, που αποτελούν οι μηχανές χύτευσης πλαστικού με έγχυση (IMM). Αυτό επιτεύχθηκε μέσω διακριτών σημάτων ελέγχου που παράγουν οι συγκεκριμένες μηχανές και αντιπροσωπεύουν λειτουργίες που λαμβάνουν χώρα σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές της παραγωγικής διαδικασίας. Έτσι η αξιοποίηση αυτών των σημάτων μέσα από την δημιουργία κατάλληλου προγράμματος PLC, έδωσε τη δυνατότητα παραγωγής χρήσιμων χρονικών δεδομένων, η επεξεργασία και η ανάλυση των οποίων οδηγεί στην εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων για την λειτουργία των μηχανών και την περαιτέρω βελτιστοποίηση των παραγόμενων προϊόντων.

Επιπλέον, στο εν λόγω σύστημα ενσωματώθηκαν περιφερειακές συσκευές οι οποίες υποστηρίζουν την παραγωγική διαδικασία του εργοστασίου. Τέτοια συστήματα είναι οι αντλίες κυκλοφορίας του νερού. Το νερό χρησιμοποιείται σαν ψυκτικό μέσο των καλουπιών και κατά συνέπεια του τετηγμένου υλικού που βρίσκεται εντός αυτών, ώστε να λάβουν την τελική τους μορφή τα παραγόμενα προϊόντα. Ακόμη στο σύστημα εποπτικού ελέγχου ενσωματώθηκε το κεντρικό δίκτυο παροχής πεπιεσμένου αέρα και το δίκτυο παροχής κενού (αρνητικής πίεσεως). Η παρακολούθηση των

τιμών των μεγεθών αυτών μέσω κατάλληλων αισθητήρων είναι ζωτικής σημασίας για την εύρυθμη λειτουργία της βιομηχανικής μονάδας, μιας και μία σειρά από επιμέρους συστήματα όπως πνευματικές βαλβίδες αέρα και κενού χρησιμοποιούνται κατά κόρον τόσο από τις IMM όσο και από τα ρομποτικά συστήματα που τις εξυπηρετούν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι ρομποτικοί μηχανισμοί που εκτελούν τις διαδικασίες IML.

Ειδικά για τα περιφερειακά συστήματα του εργοστασίου όπως οι αντλίες κυκλοφορίας νερού και οι αεροσυμπιεστές (κομπρεσέρ) του δικτύου πεπιεσμένου αέρα, πέραν της παρακολούθησης της ορθής λειτουργίας και της ύπαρξης πιθανών σφαλμάτων, μέσω του συστήματος SCADA δίνεται η δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου περιορισμένης έκτασης. Συγκεκριμένα, μέσω του κεντρικού PLC του συστήματος και της διεπαφής HMI που αναπτύχθηκε παρέχεται η δυνατότητα στον χειριστή του συστήματος εκτέλεσης λειτουργιών remote Start/Stop σε αυτά τα περιφερικά.

Επιπρόσθετα, για την ολοκληρωμένη εικόνα παρακολούθησης των διεργασιών του εργοστασίου το εποπτικό σύστημα ελέγχου έχει την ικανότητα να παράγει μηνύματα εκτάκτων καταστάσεων (alarms) όταν ορισμένες παράμετροι του συστήματος ξεπεράσουν κάποια όρια που έχουν τεθεί δυναμικά από τον χειριστή του συστήματος. Τα μηνύματα αυτά οπτικοποιούνται και εμφανίζονται στην αρχική οθόνη του συστήματος SCADA μέσω της εφαρμογής HMI.

5.2 Εξοπλισμός που παρακολουθείται μέσω του συστήματος SCADA

Όπως αναφέρθηκε και στην παραπάνω ενότητα ο εξοπλισμός που εντάχθηκε στο εποπτικό σύστημα με σκοπό την παρακολούθηση και τον έλεγχο της λειτουργίας του μπορεί να χωριστεί σε 3 βασικές κατηγορίες.

1. *Μηχανές χύτευσης πλαστικού με έγχυση (IMM)*
2. *Αντλίες κυκλοφορίας νερού*
3. *Κεντρικό σύστημα παροχής πεπιεσμένου αέρα και κενού*

Στη συνέχεια παρουσιάζεται κάθε κατηγορία ξεχωριστά.

5.2.1 IMM (Krauss Maffei & Demag)

Ο πρώτος τύπος μηχανών IMM που χρησιμοποιεί η βιομηχανική μονάδα «Kotronis Plastics SA» για την παραγωγή μίας γκάμας προϊόντων της είναι οι μηχανές της εταιρίας Krauss Maffei. Στο αναπτυχθέν σύστημα SCADA συμφωνήθηκε να ενταχθεί συγκεκριμένα μία μηχανή τύπου **Krauss Maffei KM 175 – 420 C2**.

Ο δεύτερος και πιο σύγχρονος τύπος IMM που χρησιμοποιείται είναι οι μηχανές της εταιρίας Sumitomo (SHI) DEMAG και συγκεκριμένα στο σύστημα SCADA εντάχθηκε μία μηχανή τύπου **Sumitomo (SHI) DEMAG EI-Exis SP** [22].



Εικόνα 37: IMM Krauss Maffei C2



Εικόνα 38: IMM Sumitomo (SHI) Demag EI-Exis SP

Και οι δύο τύποι μηχανών αποτελούν υβριδικά συστήματα IMM τα οποία ελέγχονται μέσω συστημάτων που έχουν αναπτυχθεί από τις κατασκευάστριες εταιρίες και δίνουν την δυνατότητα στον εκάστοτε χειριστή να παρακολουθεί και ελέγχει τις εν λόγω IMM μέσω οθόνης χειρισμού που βρίσκεται σε κάθε μηχανή. Περισσότερες λεπτομέρειες, μπορούν να βρεθούν στα αντίστοιχα site των κατασκευαστών.

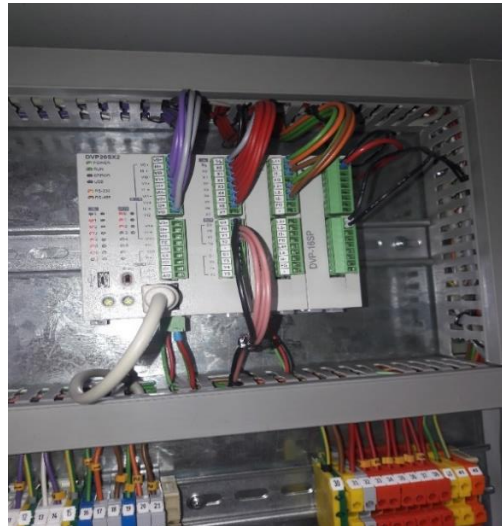
5.2.2 Αντλίες κυκλοφορίας νερού

Το σύστημα που είναι υπεύθυνο για την ορθή λειτουργία του κλειστού κυκλώματος κυκλοφορίας του νερού, αποτελείται από 5 αντλίες με τους αντίστοιχους AC drives/VFDs καθώς και 2 PLC που εκτελούν προγράμματα κυκλικής εναλλαγής της λειτουργίας των αντλιών ανάλογα με τις ανάγκες της παραγωγής.

Αναλυτικότερα, η συγκεκριμένη βιομηχανική μονάδα διαθέτει 2 γραμμές παραγωγής. Η 1^η εξυπηρετείται από ένα τρίδυμο σύστημα αντλιών. Το σύστημα αυτό υποστηρίζεται από τρία VFDs της εταιρίας Delta Electronics και συγκεκριμένα τα Delta CP2000 και από ένα PLC επίσης της Delta Electronics και συγκεκριμένα το DVP20SX2 [23] [24].



Εικόνα 39: Πίνακας ισχύος τρίδymου συστήματος αντλιών



Εικόνα 40: Πίνακας ελέγχου τρίδymου συστήματος αντλιών

Η 2^η γραμμή παραγωγής εξυπηρετείται από ένα δίδυμο σύστημα αντλιών το οποίο υποστηρίζεται αντίστοιχα από 2 VFDs και ένα PLC επίσης ίδιου τύπου συσκευές με τις αντίστοιχες της 1^{ης}.



Εικόνα 41: Πίνακας ισχύος και ελέγχου δίδymου συστήματος αντλιών

5.2.3 Κεντρικό σύστημα παροχής πεπιεσμένου αέρα και κενού

Το κεντρικό σύστημα παροχής πεπιεσμένου αέρα που τροφοδοτεί τις ανάγκες του εργοστασίου στηρίζεται σε 3 κοχλιοφόρους αεροσυμπιεστές διαφορετικών τεχνικών προδιαγραφών της εταιρίας BOGE. Συγκεκριμένα αποτελείται από έναν αεροσυμπιεστή τύπου S60-2, έναν νεότερης γενιάς SF60-2 και έναν μικρότερο S29-2 [25].

Ο τρόπος λειτουργίας του συστήματος προσαρμόζεται ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες της παραγωγής με την μέγιστη επιθυμητή πίεση στο κεντρικό σύστημα να μην υπερβαίνει τα 7 bar. Εντούτοις, είναι σπάνια η ταυτόχρονη λειτουργία και των

τριών, ενώ συνηθέστερα χρησιμοποιείται ο SF60-2 η λειτουργία του οποίου ελέγχεται από μία συσκευή VFD και ένας εκ των υπολοίπων 2.

Σε ότι αφορά το σύστημα δημιουργίας κενού αυτό στηρίζεται σε 4 αντλίες κενού της εταιρίας DVP και συγκεκριμένα τύπου LC.305, με την ελάχιστη επιθυμητή πίεση στο σύστημα να μην υπερβαίνει τα -0,85 bar.



Εικόνα 42: Κεντρικό σύστημα παραγωγής πεπιεσμένου αέρα



Εικόνα 43: Αεροσυμπιεστές BOGE

5.3 Επιλογή και ανάλυση σημάτων εισόδου στο σύστημα SCADA

Η συγκεκριμένη ενότητα αναφέρεται στην επιλογή των απαραίτητων σημάτων που χρησιμοποιούνται ως είσοδοι στο κεντρικό PLC του συστήματος SCADA και διακρίνονται σε ψηφιακές και αναλογικές. Για το σκοπό αυτό προηγήθηκε σχολαστική μελέτη τόσο της λειτουργίας όσο και των ηλεκτρολογικών σχεδίων αυτοματισμού και ισχύος όλων μονάδων που εντάχθηκαν στο σύστημα SCADA.

Η διαδικασία επιλογής ξεκίνα με τις 2 IMM που εντάχθηκαν στο σύστημα. Αρχικά για την πρώτη μηχανή τύπου Krauss Maffei C2 επιλέχθηκαν τα εξής σήματα:

1. **Mould Closed:** Πρόκειται για ένα ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο μεταβαίνει σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) την στιγμή που το καλούπι σφραγίσει και παραμένει ενεργό μέχρις ότου το καλούπι ξεκινήσει να ανοίγει.
2. **Injection Complete:** Επίσης είναι ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο μεταβαίνει σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) την χρονική στιγμή έναρξης της διαδικασίας έγχυσης και παραμένει ενεργό μέχρις ότου το καλούπι ανοίξει πλήρως.
3. **Plasticising:** Είναι ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο μεταβαίνει σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) όταν ξεκινήσει η διαδικασία της πλαστικοποίησης και απενεργοποιείται (λογικό 0) αμέσως μόλις τελειώσει η διαδικασία της πλαστικοποίησης.
4. **Mould Open:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο μεταβαίνει σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) τη χρονική στιγμή που το καλούπι ανοίξει πλήρως και παραμένει ενεργό μέχρι το καλούπι να ξεκινήσει να κλείνει.
5. **Mould Opening:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο μεταβαίνει σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) ακριβώς τη χρονική στιγμή που το καλούπι ξεσφραγίσει.

6. **Cylinder Heating:** Είναι ένα ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο παραμένει ενεργό (λογικό 1) όσο χρονικό διάστημα οι αντιστάσεις θέρμανσης του κυλίνδρου της μονάδας έγχυσης βρίσκονται σε λειτουργία.
7. **Fully Automatic Operation:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο παραμένει σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) για όσο χρονικό διάστημα η μηχανή βρίσκεται σε αυτόματη λειτουργία.
8. **Fault:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο ενεργοποιείται (λογικό 1) όταν προκύψει κάποιο σφάλμα κατά τη λειτουργία της μηχανής.

Για την δεύτερη IMM τύπου Sumitomo (SHI) DEMAG που εντάχθηκε στο σύστημα SCADA τα επιλεγθέντα σήματα είναι τα ακόλουθα:

1. **Mould Closed:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο μεταβαίνει σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) την χρονική που το καλούπι σφραγίζει και παραμένει ενεργό μέχρις ότου το καλούπι ξεκινήσει να ανοίγει.
2. **Follow up Pressure:** Ακόμη ένα ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο μεταβαίνει σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) την χρονική στιγμή έναρξης της διαδικασίας έγχυσης και παραμένει ενεργό μέχρι το τέλος της Β φάσης πίεσης.
3. **B Piesh:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο μεταβαίνει σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) όταν ξεκινήσει η διαδικασία της Β φάσης πίεσης και απενεργοποιείται (λογικό 0) αμέσως μόλις τελειώσει η Β φάση πίεσης.
4. **Mould Open:** Επίσης ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο μεταβαίνει σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) τη χρονική στιγμή που το καλούπι ανοίξει πλήρως και παραμένει ενεργό μέχρις ότου το καλούπι ξεκινήσει να κλείνει.
5. **Barrel Heating On:** Πρόκειται για ένα ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο παραμένει ενεργό (λογικό 1) όσο χρονικό διάστημα οι αντιστάσεις θέρμανσης του κυλίνδρου της μονάδας έγχυσης βρίσκονται σε λειτουργία.
6. **Automatic Operation:** Είναι ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο παραμένει σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) για όσο χρονικό διάστημα η μηχανή βρίσκεται σε αυτόματη λειτουργία.
7. **Fault:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο ενεργοποιείται (λογικό 1) όταν προκύπτει σφάλμα κατά τη λειτουργία της μηχανής.

Για το σύστημα των αντλιών κυκλοφορίας νερού της βιομηχανικής μονάδας η επιλογή των απαραίτητων σημάτων βασίστηκε σε κατηγορίες ψηφιακών σημάτων 24V DC οι οποίες παρουσιάζονται ως ακολούθως:

1. **Operation P1 – Operation P5:** Πρόκειται για 5 ψηφιακά σήματα τα οποία όταν είναι ενεργά (λογικό 1) αντιπροσωπεύουν την ενεργό λειτουργία της εκάστοτε αντλίας ξεχωριστά. Αντίστοιχα η μη ενεργοποίηση κάποιου σήματος υποδηλώνει την μη λειτουργία της συγκεκριμένης αντλίας.

2. **Failure P1 – Failure P5:** Επίσης 5 ψηφιακά σήματα η ενεργοποίηση κάποιου εξ αυτών (λογικό 1) υποδηλώνει την ύπαρξη βλάβης στη συγκεκριμένη αντλία.
3. **Operation Twin P:** Ψηφιακό σήμα η ενεργοποίηση του οποίου υποδηλώνει την λειτουργία του δίδυμου συστήματος συνολικά.
4. **Operation Triple P:** Ψηφιακό σήμα η ενεργοποίηση του οποίου υποδηλώνει την λειτουργία του τρίδυμου συστήματος συνολικά.

Τέλος τα σήματα του κεντρικού συστήματος παροχής πεπιεσμένου αέρα και δημιουργίας κενού που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν διακρίνονται σε ψηφιακά και αναλογικά και είναι τα ακόλουθα:

1. **Operation S60-2:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο όταν είναι ενεργοποιημένο (λογικό 1) υποδηλώνει ότι ο συγκεκριμένος αεροσυμπιεστής βρίσκεται σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας.
2. **Failure S60-2:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) η ενεργοποίηση του οποίου (λογικό 1) υποδηλώνει την παρουσία σφάλματος στον συγκεκριμένο αεροσυμπιεστή.
3. **Operation SF60-2:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο όταν είναι ενεργοποιημένο (λογικό 1) υποδηλώνει ότι ο συγκεκριμένος αεροσυμπιεστής βρίσκεται σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας.
4. **Failure SF60-2:** Επίσης ψηφιακό σήμα (24V DC) η ενεργοποίηση του οποίου (λογικό 1) υποδηλώνει την παρουσία σφάλματος στον συγκεκριμένο αεροσυμπιεστή.
5. **Operation S29-2:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) η ενεργοποίηση του οποίου (λογικό 1) δηλώνει ότι ο συγκεκριμένος αεροσυμπιεστής βρίσκεται σε κατάσταση κανονικής λειτουργίας.
6. **Failure S29-2:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) που όταν ενεργοποιηθεί (λογικό 1) δηλώνεται η παρουσία σφάλματος λειτουργίας στον συγκεκριμένο αεροσυμπιεστή.
7. **Air Pressure:** Αναλογικό σήμα (4-20 mA) η τιμή του οποίου κάθε χρονική στιγμή αναπαριστά την πίεση του κεντρικού δικτύου παροχής αέρα.
8. **Vacuum Pressure:** Αναλογικό σήμα (4-20 mA) η τιμή του οποίου κάθε χρονική στιγμή αναπαριστά την πίεση του κεντρικού δικτύου δημιουργίας κενού.

5.4 Ανάλυση σημάτων εξόδου του συστήματος SCADA

Αυτή η ενότητα αναφέρεται στην παρουσίαση και ανάλυση των σημάτων που χρησιμοποιούνται ως έξοδοι του κεντρικού PLC του συστήματος SCADA. Τα παραγόμενα αυτά σήματα έχουν βασικό σκοπό την απομακρυσμένη ενεργοποίηση/απενεργοποίηση (ON/OFF) κύριου εξοπλισμού του εργοστασίου όπως τα 2 συστήματα αντλιών κυκλοφορίας νερού καθώς και τους 2 από τους 3

αεροσυμπιεστές του κεντρικού δικτύου παροχής πεπιεσμένου αέρα. Δίνοντας στον χειριστή του SCADA τη δυνατότητα ελέγχου αυτών των συσκευών χωρίς τη φυσική παρουσία του στο χώρο. Με βάση αυτή τη λογική τα σήματα εξόδου του PLC του συστήματος SCADA είναι τα ακόλουθα:

1. **Enable Triplet Pumps:** Πρόκειται για ένα ψηφιακό σήμα (24V DC) το οποίο όταν βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) ενεργοποιεί τη λειτουργία του τρίδymου συστήματος αντλιών.
2. **Enable Twin Pumps:** Ψηφιακό σήμα (24V DC) που όταν βρίσκεται σε ενεργή κατάσταση (λογικό 1) ενεργοποιεί τη λειτουργία του δίδymου συστήματος αντλιών.
3. **Enable S60-2:** Επίσης ψηφιακό σήμα (24 V DC) που όταν ενεργοποιηθεί θέτει σε λειτουργία τον αεροσυμπιεστή S60-2.
4. **Enable S29-2:** Ψηφιακό σήμα (24 V DC) που όταν ενεργοποιηθεί θέτει σε λειτουργία τον αεροσυμπιεστή S29-2.

5.5 Τρόπος επιλογής σημάτων και πρωτόκολλα Euromap 12 και Euromap 67

Μέχρι τώρα έχει γίνει αναφορά στο ποια είναι τα σήματα που αποτελούν είσοδο στο PLC του συστήματος SCADA και τι αντιπροσωπεύει το καθένα από αυτά. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η επιλογή των συγκεκριμένων σημάτων έγινε με σκοπό ο συνδυασμός τους μέσω του προγράμματος που δημιουργήθηκε και τρέχει στο κεντρικό PLC του συστήματος να αποδώσει τα επιθυμητά αποτελέσματα και να εκπληρώνει τους στόχους της δημιουργίας του συστήματος.

Αρχικά για τις IMM που εντάχθηκαν στο σύστημα και συγκεκριμένα για την μηχανή Krauss Maffei C2, μετά από μελέτη του ηλεκτρολογικού σχεδίου αυτοματισμού της, τα απαραίτητα ψηφιακά σήματα συγκεντρώθηκαν από τις κλέμες ψηφιακών εξόδων της μονάδας ελέγχου της μηχανής. Οι συγκεκριμένες κλέμες βρίσκονται στην αριστερή πλευρά της μονάδας ελέγχου που φαίνεται στο κάτω δεξιά μέρος της εικόνας 44.



Εικόνα 44: Μονάδα ελέγχου IMM Krause Maffei C2 του εργοστασίου ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΟΤΡΩΝΗΣ ΑΒΕΕ

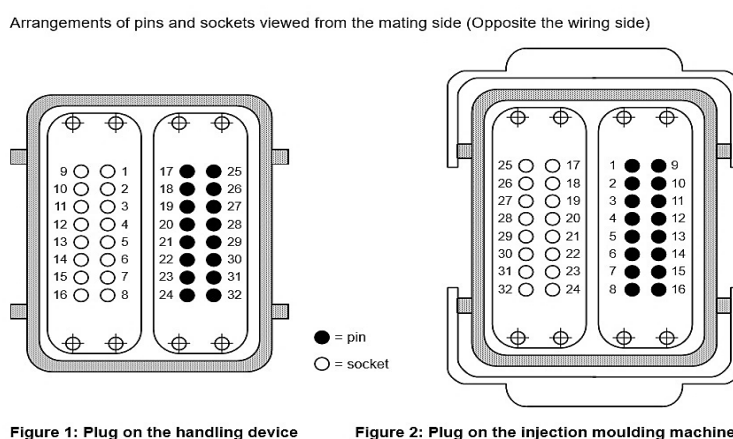
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι 2 από τα σήματα που επιλέχθηκαν, συγκεκριμένα τα σήματα **Mould Closed** και **Mould Open** και τα οποία παίζουν

σημαντικό ρόλο στον υπολογισμό του χρόνου κύκλου της μηχανής, επιλέχθηκαν σαν σήματα του πρωτοκόλλου *Euromap 12* [26].

Στον ευρωπαϊκό οργανισμό *Euromap* (European Plastics and Rubber Machinery) συμμετέχουν οι μεγαλύτερες εταιρίες κατασκευής εξοπλισμού για την βιομηχανία πλαστικών. Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας αποτελούν τεχνικές συστάσεις που εκδίδει ο συγκεκριμένος οργανισμός και που ακολουθούνται από όλους τους κατασκευαστές προκειμένου να υπάρχει δια-συνδεσιμότητα μεταξύ του εξοπλισμού τους και των ρομποτικών μηχανισμών που εξυπηρετούν τις IMM.

Πιο συγκεκριμένα, το πρωτόκολλο *Euromap 12* αποτελεί ένα standard πρότυπο επικοινωνίας μεταξύ IMM και των μηχανισμών εξυπηρέτησης των μηχανών/ρομπότ. Βασίζεται σε μια ηλεκτρική διεπαφή που συνδέει τις δύο συσκευές και καθορίζει τις μεταξύ τους συνδέσεις καθώς και τα επίπεδα τάσης και έντασης των σημάτων.

Για την IMM οι επαφές της φίσας 1-16 είναι αρσενικές και επαφές 17-32 θηλυκές. Τα αντίθετα ισχύουν για τις επαφές της φίσας από την πλευρά του ρομπότ.



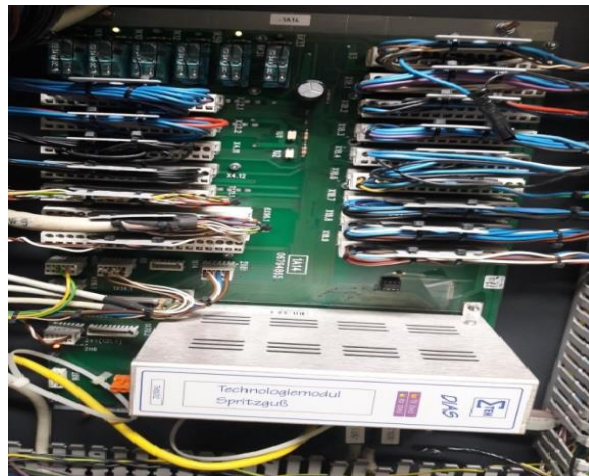
Εικόνα 45: Ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ IMM και ρομπότ σύμφωνα με το *Euromap 12*

Στο πρωτόκολλο *Euromap 12* η επαφή Νο 2 της φύσας από την πλευρά της IMM προσδιορίζει το σήμα **Mould Open**. Σύμφωνα με το *Euromap 12* η συγκεκριμένη επαφή θα πρέπει να είναι κλειστή όταν θέση ανοίγματος του καλουπιού είναι ίση η μεγαλύτερη από την απαιτούμενη. Επιπλέον η συγκεκριμένη επαφή θα πρέπει να παραμένει κλειστή για όσο χρονικό διάστημα απαιτείται προκειμένου το ρομπότ εξυπηρέτησης της μηχανής να ολοκληρώσει την εργασία του και να απομακρυνθεί επαρκώς από την περιοχή του καλουπιού.

Αντίστοιχα, η επαφή Νο 12 της φύσας από την πλευρά της IMM προσδιορίζει το σήμα **Mould Closed**. Η συγκεκριμένη επαφή είναι κλειστή όταν επιτευχθεί πλήρες κλείσιμο του καλουπιού.

Για τη δεύτερη IMM του συστήματος, την μηχανή Sumitomo DEMAG EI-Exis, η επιλογή των σημάτων εισόδου στο PLC έγινε και πάλι βάσει του ηλεκτρολογικού

σχεδίου αυτοματισμού και ισχύος της μηχανής. Τα απαραίτητα σήματα συγκεντρώθηκαν από τις κλέμες εξόδου της μονάδας ελέγχου της μηχανής που φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.

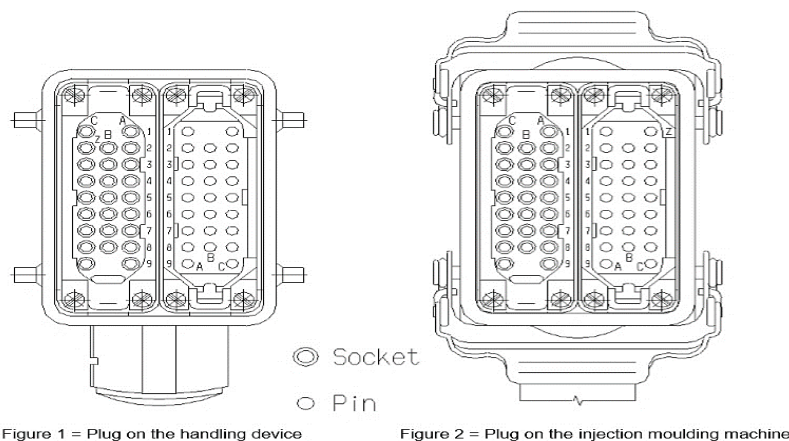


Εικόνα 46: Μονάδα ελέγχου της IMM Sumitomo DEMAG EI-Exis

Όπως και στην προηγούμενη IMM έτσι και εδώ τα σήματα *Mould Closed* και *Mould Open* επιλέχθηκαν σαν σήματα του πρωτοκόλλου *Euromap 67* το οποίο χρησιμοποιεί ο συγκεκριμένος τύπος μηχανής για την επικοινωνία και ανταλλαγή σημάτων με το ρομπότ εξυπηρέτησης της μηχανής που εκτελεί τη διαδικασία IML [27].

Το πρωτόκολλο *Euromap 67* βασίζεται και αυτό σε μια ηλεκτρική διεπαφή που συνδέει τις δύο συσκευές και καθορίζει τις μεταξύ τους συνδέσεις αλλά και τα επίπεδα τάσης και έντασης των σημάτων. Στο *Euromap 67* ο καθορισμός των επαφών της φύσας διασύνδεσης φαίνεται στην επόμενη εικόνα.

Arrangements of pins and sockets viewed from the mating side (Opposite the wiring side).



Εικόνα 47: Ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ IMM και ρομπότ σύμφωνα με το *Euromap 67*

Έτσι στο *Euromap 67* η επαφή ZA7 της φύσας από την μεριά της IMM προσδιορίζει το σήμα *Mould Open*. Το σήμα αυτό θα πρέπει να παραμένει σε επίπεδο HIGH

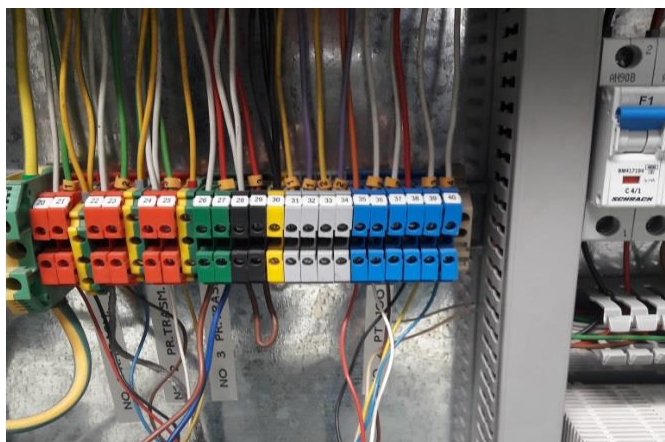
(λογικό 1) όταν το καλούπι βρεθεί σε θέση ανοίγματος ίση η μεγαλύτερη από την απαιτούμενη. Επιπλέον το συγκεκριμένο σήμα θα πρέπει να παραμένει σε κατάσταση HIGH για όσο χρόνο απαιτείται από το ρομπότ εξυπηρέτησης της μηχανής προκειμένου να ολοκληρώσει την εργασία του.

Το σήμα που καθορίζει ότι το καλούπι της μηχανής έχει κλείσει επαρκώς, δηλαδή το σήμα **Mould Closed**, προέρχεται από την επαφή ZA6. Το σήμα αυτό θα πρέπει να βρίσκεται σε κατάσταση HIGH για όσο χρονικό διάστημα το καλούπι της μηχανής είναι πλήρως κλειστό.

Για το σύστημα των αντλιών κυκλοφορίας νερού του εργοστασίου όλα τα απαραίτητα σήματα εισόδου στο PLC συλλέχθηκαν με απλή καλωδιακή σύνδεση από τις κλέμες του πίνακα αυτοματισμού του συστήματος με τις κλέμες ψηφιακών εισόδων του κεντρικού PLC του συστήματος SCADA. Ο τρόπος αυτός θεωρήθηκε ως ο πλέον κατάλληλος λόγω της τοπολογίας του συστήματος που αναπτύχθηκε.

Έτσι για το σύστημα των 2 πρώτων αντλιών (δίδυμο) οι επαφές του πίνακα αυτοματισμού του συστήματος μας δίνουν τα ακόλουθα σήματα:

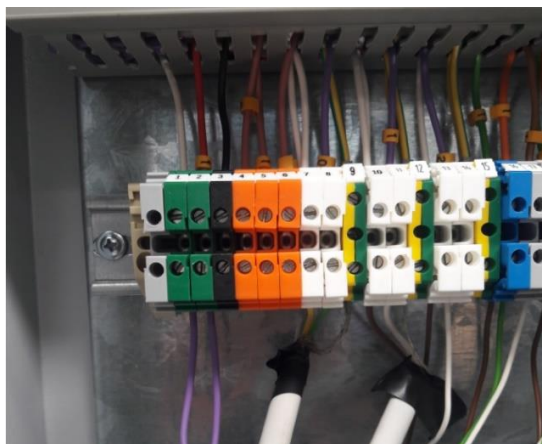
- Επαφή 31 - **Operation P1** (Λειτουργία αντλίας 1)
- Επαφή 32 - **Failure P1** (Βλάβη αντλίας 1)
- Επαφή 33 - **Operation P2** (Λειτουργία αντλίας 2)
- Επαφή 34 - **Failure P2** (Βλάβη αντλίας 2)



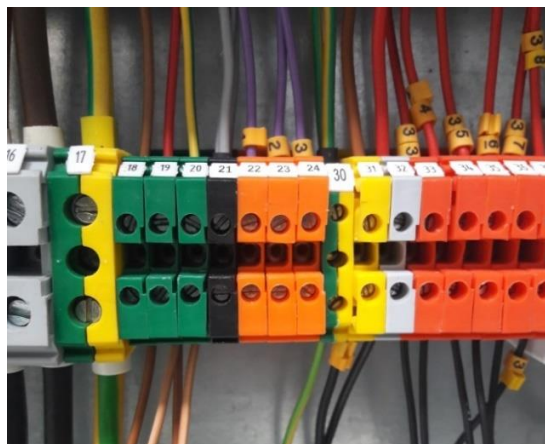
Εικόνα 48: Επαφές σημάτων του πίνακα αυτοματισμού του δίδυμου συστήματος

Αντίστοιχα για το σύστημα των επόμενων 3 αντλιών (τρίδυμο) ισχύουν τα εξής:

- Επαφή 4 - **Operation P3** (Λειτουργία αντλίας 3)
- Επαφή 5 - **Operation P4** (Λειτουργία αντλίας 4)
- Επαφή 6 - **Operation P5** (Λειτουργία αντλίας 5)
- Επαφή 22 - **Failure P3** (Βλάβη αντλίας 3)
- Επαφή 23 - **Failure P4** (Βλάβη αντλίας 4)
- Επαφή 24 - **Failure P5** (Βλάβη αντλίας 5)



Εικόνα 49: Επαφές για σήματα λειτουργίας των αντλιών του τρίδυμου



Εικόνα 50: Επαφές για σήματα βλάβης των αντλιών του τρίδυμου

Για τους αεροσυμπιεστές του κεντρικού συστήματος παροχής πεπιεσμένου αέρα τα ψηφιακά σήματα που επιλέχθηκαν για την παρακολούθηση της λειτουργίας τους χρησιμοποιήθηκε και πάλι ο πίνακας αυτοματισμού των αεροσυμπιεστών.

Αναλυτικότερα για τον αεροσυμπιεστή S60-2 τα σήματα λειτουργίας και βλάβης προέκυψαν ως εξής:

- Επαφές 8-9 του ηλεκτρονόμου K6 - **Operation S60-2** (Λειτουργία S60-2)
- Επαφές 3-4 της κλέμας X3 - **Failure S60-2** (Βλάβη S60-2)

Τα αντίστοιχα σήματα λειτουργίας και βλάβης προέκυψαν από τις ίδιες ακριβώς επαφές των αντίστοιχων πινάκων αυτοματισμού των άλλων 2 συστημάτων SF60-2 και S29-2.



Εικόνα 51: Επαφές για σήματα λειτουργίας και βλάβης του αεροσυμπιεστή S60-2

Τέλος για την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο των τιμών της πίεσης του κεντρικού δικτύου πεπιεσμένου αέρα και δημιουργίας κενού χρησιμοποιήθηκαν αντίστοιχα δύο αισθητήρες μέτρησης πίεσης και κενού της εταιρίας SICK. Τα επιστρεφόμενα σήματα των αισθητήρων είναι αναλογικά σήματα 4-20mA. Οι δύο αισθητήρες προσαρμόστηκαν πάνω στο κεντρικό δίκτυο παροχής πεπιεσμένου αέρα και παροχής κενού όπως φαίνεται στην εικόνα 53.

Τα σήματα εισόδου στο PLC *Air Pressure* και *Vacuum Pressure* αντιπροσωπεύουν τις μετρούμενες τιμές των δύο μεγεθών.



Εικόνα 52: Αριστερά αισθητήρας πίεσης, δεξιά αισθητήρας κενού προσαρμοζόμενοι στο κεντρικό δίκτυο

5.6 Χωροταξία του συστήματος SCADA και επιλογή υλικών

Η κατάλληλη επιλογή του σημείου που στήθηκε ο πίνακας του συστήματος SCADA αποτέλεσε βασικό θέμα στον όλο σχεδιασμό του συστήματος. Έτσι ως προς τη χωροταξία και την τοπολογία του κεντρικού πίνακα έπαιξαν ρόλο μία σειρά από παράγοντες. Συγκεντρώνοντας και αναλύοντας όλα τα δεδομένα αποφασίστηκε ο πίνακας αυτοματισμού να τοποθετηθεί δίπλα από το σύστημα των αντλιών κυκλοφορίας νερού για τους εξής λόγους.

1. Διαθέσιμος χώρος για την κατασκευή του πίνακα.
2. Κεντρικό σημείο όπου επιμέρους συστήματα όπως IMM's και κεντρικό δίκτυο αέρα και κενού βρίσκονται σχετικά κοντά και σε ίσες αποστάσεις από τον πίνακα του συστήματος.
3. Αποφεύγονται μεγάλες αποστάσεις που πιθανός να δημιουργήσουν προβλήματα πτώσης τάσης ή ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών στα μεταφερόμενα σήματα.
4. Εύκολη πρόσβαση στους τεχνικούς βάρδιας σε περίπτωση επίλυσης προβλημάτων (troubleshooting).
5. Πολύ μικρή απόσταση από το κεντρικό switch του βιομηχανικού δικτύου ώστε το κεντρικό PLC να συνδεθεί στο βιομηχανικό δίκτυο.
6. Εύκολη η δυνατότητα επέκτασης του σε μεταγενέστερο χρόνο.



Εικόνα 53: Θέση πίνακα ελέγχου του συστήματος SCADA

Στη συνέχεια ακολουθεί αναφορά και περιγραφή των βασικών υλικών που επιλέχθηκαν για τη δημιουργία του συστήματος SCADA και παρέχονται οι απαραίτητες τεχνικές πληροφορίες για το κάθε στοιχείο.

5.6.1 Κεντρικό PLC

Κεντρικό ρόλο στο σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου που αναπτύχθηκε παίζει το PLC του συστήματος. Όντας ο «εγκέφαλος» του SCADA το PLC συγκεντρώνει όλα τα σήματα (ψηφιακά και αναλογικά) που από τις επιμέρους συσκευές και παράγει τις απαραίτητες εξόδους. Επιπλέον σε αυτό τρέχει το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε, και παρουσιάζεται στο επόμενο κεφάλαιο, προκειμένου να εξάγονται τα σωστά αποτελέσματα υπολογισμών και μετρήσεων που στη συνέχεια παρουσιάζονται από την HMI εφαρμογή που αναπτύχθηκε. Η ταχύτητα επεξεργασίας και μεταφοράς δεδομένων, η αξιοπιστία και η υποστήριξη είναι οι παράγοντες που συνέβαλαν στην επιλογή του ελεγκτή **SIMATIC S7-1200** της εταιρίας Siemens.

Ο συγκεκριμένος ελεγκτής χρησιμοποιεί σαν επεξεργαστική μονάδα την **CPU 1215 DC/DC/DC** που απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 54: PLC του συστήματος SCADA

Στη συνέχεια παρατίθεται ένας πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των διάφορων CPU του ελεγκτή S7-1200. Για περισσότερες τεχνικές λεπτομέρειες μπορεί κάποιος να ανατρέξει στον διαδικτυακό τόπο της κατασκευάστριας εταιρίας [28].

Feature		CPU 1211C	CPU 1212C	CPU 1214C	CPU 1215C
Physical size (mm)		90 x 100 x 75	90 x 100 x 75	110 x 100 x 75	130 x 100 x 75
User memory	Work	30 Kbytes	50 Kbytes	75 Kbytes	100 Kbytes
	Load	1 Mbyte	1 Mbyte	4 Mbytes	4 Mbytes
	Retentive	10 Kbytes	10 Kbytes	10 Kbytes	10 Kbytes
Local on-board I/O	Digital	6 inputs/4 outputs	8 inputs/6 outputs	14 inputs/10 outputs	14 inputs/10 outputs
	Analog	2 inputs	2 inputs	2 inputs	2 inputs / 2 outputs
Process image size	Inputs (I)	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes
	Outputs (Q)	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes	1024 bytes
Bit memory (M)		4096 bytes	4096 bytes	8192 bytes	8192 bytes
Signal module (SM) expansion		None	2	8	8
Signal board (SB), Battery board (BB), or communication board (CB)		1	1	1	1
Communication module (CM) (left-side expansion)		3	3	3	3
High-speed counters	Total	3 built-in I/O, 5 with SB	4 built-in I/O, 6 with SB	6	6
	Single phase	3 at 100 kHz	3 at 100 kHz	3 at 100 kHz	3 at 100 kHz
		SB: 2 at 30 kHz	1 at 30 kHz	3 at 30 kHz	3 at 30 kHz
Quadrature phase	3 at 80 kHz	3 at 80 kHz	3 at 80 kHz	3 at 80 kHz	
	SB: 2 at 20 kHz	1 at 20 kHz	3 at 20 kHz	3 at 20 kHz	
Pulse outputs ¹		4	4	4	4
Memory card		SIMATIC Memory card (optional)			
Real time clock retention time		20 days, typ. / 12 day min. at 40 degrees C (maintenance-free Super Capacitor)			
PROFINET		1 Ethernet communication port			2 Ethernet communication ports
Real math execution speed		2.3 µs/instruction			
Boolean execution speed		0.08 µs/instruction			

Εικόνα 55: Τεχνικά χαρακτηριστικά CPU 1215C

5.6.2 Module 8 DI/DO

Όπως είναι εμφανές από την προηγούμενη παρουσίαση του ελεγκτή S7-1200 οι ψηφιακές του εισοδοί περιορίζονται σε 14. Από την άλλη μεριά όπως φάνηκε στην υποενότητα 5.3 τα ψηφιακά σήματα εισόδου που λαμβάνει το σύστημα παρακολούθησης και ελέγχου που αναπτύχθηκε είναι 18. Για το λόγο αυτό η προσθήκη μίας μονάδας ψηφιακών εισόδων κρίθηκε αναγκαία. Έτσι τα ψηφιακά σήματα εισόδου της συγκεκριμένης μονάδας είναι τα **Operation S29-2, Failure S29-2, Operation Twin P, Operation Triple P**. Ένας επιπλέον λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήθηκε το συγκεκριμένο module είναι η επεκτασιμότητα του συστήματος μεταγενέστερα.

Το module που επιλέχθηκε είναι και αυτό της εταιρίας Siemens και συγκεκριμένα το **SM 1223 DC/DC** που φαίνεται στην 56 ενώ στην εικόνα 57 φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης μονάδας.



Εικόνα 56: 8 DI/DO module της εταιρίας Siemens

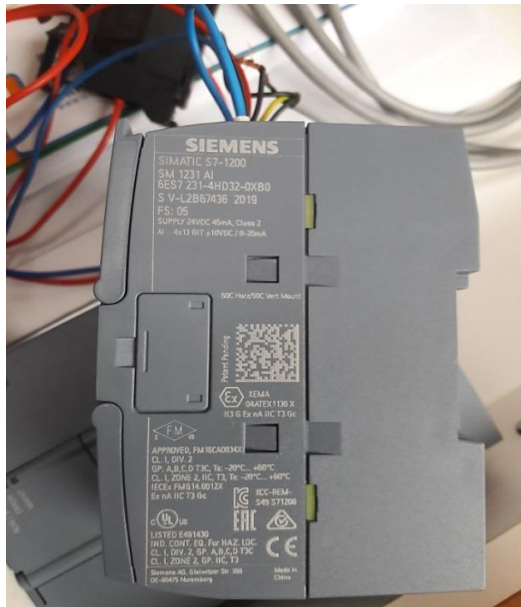
Technical specifications	
Article number	6ES7223-1BH32-0XB0 DIGITAL I/O SM 1223, 8 DI / 8 DO
Product type designation	
Supply voltage	
Rated value (DC)	Yes
• 24 V DC	
permissible range, lower limit (DC)	20.4 V
permissible range, upper limit (DC)	28.8 V
Input current	
from backplane bus 5 V DC, max.	145 mA
Digital inputs	
• from load voltage L+ (without load), max.	4 mA; per channel
Output voltage	
Power supply to the transmitters	
• present	Yes
Power losses	
Power loss, typ.	2,5 W
Digital inputs	
Number of digital inputs	8
• In groups of	2
Input characteristic curve in accordance with IEC 61131, type 1	Yes
Number of simultaneously controllable inputs	
all mounting positions	
- up to 40 °C, max.	8
horizontal installation	
- up to 40 °C, max.	8
- up to 50 °C, max.	8
vertical installation	
- up to 40 °C, max.	8
Input voltage	
• Type of input voltage	DC
• Rated value (AC)	
• Rated value (DC)	24 V
• for signal "0"	5 V DC at 1 mA
• for signal "1"	15 VDC at 2,5 mA

Εικόνα 57: Τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας SM 1223 DC/DC

5.6.3 Module 4 AI

Για την λήψη των τιμών πίεσης αέρα και κενού του κεντρικού δικτύου του εργοστασίου χρησιμοποιήθηκε σαν επιπλέον προσθήκη στο PLC ένα 4 AI module. Τα δύο αναλογικά σήματα εισόδου που λαμβάνονται από το συγκεκριμένο module είναι τα σήματα *Air Pressure* και *Vacuum Pressure*. Ο λόγος της επιλογής αυτής της μονάδας είναι ότι η μετρούμενη τιμή των 2 αισθητήρων μεταφέρεται σαν σήμα ρεύματος 4-20mA, επιλογή που δεν υποστηρίζονταν από τις αναλογικές εισόδους του **PLC S7-1200** οι οποίες υποστηρίζουν αναλογικά σήματα τάσης 0-10V. Έτσι το υλικό που επιλέχθηκε ήταν το **SM 1231 AI** το οποίο απεικονίζεται στην συνέχεια.

Πληροφορίες σχετικά με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης μονάδας παρατίθενται στην εικόνα 59. Επιπλέον ακόμη περισσότερες τεχνικές λεπτομέρειες βρίσκονται στο site του κατασκευαστή [29].



Εικόνα 58: 4 AI module της εταιρίας Siemens

General information	
Product type designation	SM 1231, AI 4x13 bit
Supply voltage	
Rated value (DC)	24 V
Input current	
Current consumption, typ.	45 mA
from backplane bus 5 V DC, typ.	80 mA
Power loss	
Power loss, typ.	1.5 W
Analog inputs	
Number of analog inputs	4; Current or voltage differential inputs
permissible input voltage for voltage input (destruction limit), max.	35 V
permissible input current for current input (destruction limit), max.	40 mA
Cycle time (all channels) max.	625 µs
Input ranges	
• Voltage	Yes: ±10V, ±5V, ±2.5V
• Current	Yes: 4 to 20 mA, 0 to 20 mA
• Thermocouple	No
• Resistance thermometer	No
• Resistance	No
Input ranges (rated values), voltages	
• -10 V to +10 V	Yes
— Input resistance (-10 V to +10 V)	≥9 MΩhm
• -2.5 V to +2.5 V	Yes
— Input resistance (-2.5 V to +2.5 V)	≥9 MΩhm
• -5 V to +5 V	Yes
— Input resistance (-5 V to +5 V)	≥9 MΩhm
Input ranges (rated values), currents	
• 0 to 20 mA	Yes
— Input resistance (0 to 20 mA)	280 Ω
• 4 mA to 20 mA	Yes
— Input resistance (4 mA to 20 mA)	280 Ω
Analog value generation for the inputs	
Integration and conversion time/resolution per channel	
• Resolution with overrange (bit including sign), max.	12 bit, + sign
• Integration time, parameterizable	Yes
• Interference voltage suppression for interference frequency	40 dB, DC to 60 V for interference frequency 50 / 60 Hz
• f1 in Hz	

Εικόνα 59: Τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας SM 1231 AI

5.6.4 Remote I/O

Η απόσταση από τις 2 IMM που εντάχθηκαν στο σύστημα SCADA μέχρι το κεντρικό PLC προσεγγίζει τα 100m. Έτσι για την μετάδοση των ψηφιακών σημάτων που συλλέχθηκαν από τις 2 μηχανές χρησιμοποιήθηκε μία συσκευή remote I/O. Ο ρόλος της συγκεκριμένης μονάδας είναι η συλλογή των επιθυμητών σημάτων από τις 2 IMM και η αποστολή τους στο PLC του συστήματος μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας όπως αυτά που εξετάστηκαν στο κεφάλαιο 3. Ο κύριος λόγος ύπαρξης μίας τέτοιας μονάδας είναι ο περιορισμός της χρήσης καλωδίων που θα μεταφέρουν τα ψηφιακά σήματα, που παράγονται από τις 2 αυτές μηχανές, σε μεγάλες αποστάσεις. Περιορίζονται με τον τρόπο αυτό πιθανά προβλήματα πτώσης τάσης των μεταφερόμενων σημάτων και ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών από ρεύματα ισχύος που τρέχουν στα κανάλια μεταφοράς. Ως προς το πρωτόκολλο επικοινωνίας που επιλέχθηκε, αυτό είναι το Profinet I/O για δύο λόγους:

1. Το PLC S7-1200 υποστηρίζει το συγκεκριμένο είδος επικοινωνίας χωρίς την επιπλέον προσθήκη κάποιου Communication Module – CM.
2. Το Profinet I/O εξασφαλίζει υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων της τάξης των 100 Mbits/s. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στοιχείο αν αναλογιστεί κανείς τους αρκετά μικρούς χρόνους ενεργοποίησης κάποιων ψηφιακών σημάτων η μεταφορά και επεξεργασία των οποίων μέσα από το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε και τρέχει στο PLC παράγει σημαντικά χρονικά δεδομένα για τη διεργασία IM.

Για το σκοπό αυτό επιλέχθηκε ένα remote I/O της εταιρίας WAGO που επικοινωνεί με το PLC βάση του πρωτοκόλλου Profinet I/O και συγκεκριμένα η συσκευή **WAGO PROFINET I/O 750-375**. Ακολουθώς παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά της

συγκεκριμένης μονάδας. Περισσότερες λεπτομέρειες υπάρχουν στο site του κατασκευαστή [30].



Εικόνα 60: Remote I/O για τη μεταφορά σημάτων μέσω δικτύου Profinet από τις IMM στο PLC

■ Technical Data	
Communication	PROFINET IO
ETHERNET protocols	LLDP SNMP HTTP
Device-specific	Supported profiles: PROFIsafe V2, PROFINergy V1.0; ID code: Vendor ID: 0x011D; Device ID: 0x02EE; Module ID: 0x01000177 (firmware version 01, 02), 0x02000177 (from firmware version 03)
Baud rate	10/100 Mbit/s (10 Mbit/s (ETHERNET protocols), 100 Mbit/s full duplex (PROFINET IO))
Bus segment length (max.)	100 m
Transmission medium	Twisted Pair S-UTP; 100 Ω; Cat. 5
Number of modules per node (max.)	250
Number of modules without a bus extension (max.)	64
Input and output (fieldbus) process image (max.)	512 Byte/512 Byte
Supply voltage (system)	DC 24 V (-25 ... +30 %); via pluggable connector (CAGE CLAMP [®] connection)
Power consumption (5 V system supply)	450 mA
Total current (system supply)	1,700 mA
Supply voltage (field)	DC 24 V (-25 ... +30 %); via power jumper contacts
Input current (typ.) at nominal load (24 V)	500 mA

Εικόνα 61: Τεχνικά χαρακτηριστικά της μονάδας WAAGO PROFINET I/O 750-375

5.6.5 Αισθητήρας μέτρησης πίεσης

Για τη μέτρηση της τιμής της πίεσης του κεντρικού δικτύου πεπιεσμένου αέρα, στο σημείο του κεντρικού αγωγού πριν την εισαγωγή του στην παραγωγή όπως φαίνεται και στην εικόνα 53, χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας **PBT-RB010SG1SSNAMA0Z** της εταιρίας SICK. Το εύρος τιμών του αισθητήρα επιλέχθηκε βάσει των προδιαγραφών του συστήματος παροχής πεπιεσμένου αέρα και των αναγκών της παραγωγής. Αναλυτικότερα, σύμφωνα με μελέτες για τις ανάγκες και των δύο γραμμών παραγωγής η μέγιστη τιμή του κεντρικού δικτύου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει την τιμή των 7 bar. Επίσης το σήμα εξόδου του αισθητήρα που αναπαριστά την μετρούμενη φυσική τιμή είναι σήμα ρεύματος 4-20mA.

Περισσότερες τεχνικές λεπτομέρειες για τον συγκεκριμένο αισθητήρα παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα. Αναλυτικότερες πληροφορίες βρίσκονται στο site του κατασκευαστή [31].



Εικόνα 62 Αισθητήρας πίεσης SICK

Pressure unit	bar
Measuring range	0 bar ... 10 bar
Process temperature	0 °C ... +80 °C
Output signal	4 mA ... 20 mA, 2-wire
Specialty	Without
MECHANICS/ELECTRONICS	
Process connection	G 1/4 A according to DIN 3852-E
Wetted parts	Pressure Connection: stainless steel 316L Pressure sensor: stainless steel 316L (for measurement ranges from 0 bar ... 10 bar rel stainless steel 13-8 PH)
Internal transmission fluid	Silicone oil (only with pressure ranges < 0 bar ... 10 bar and ≤ 0 bar abs ... 25 bar abs)
Pressure port	Standard
Housing material	Stainless steel
Connection type	Round connector M12 x 1, 4-pin, IP67
Supply voltage	9 V DC ... 30 V DC with output signal 4 mA ... 20 mA and 0 V ... 5 V 14 V DC ... 30 V DC with output signal 0 V ... 10 V 8 V DC ... 30 V DC 1)
Power consumption	Signal current (max. 25 mA) for current output Max. 8 mA for voltage output signal
Electrical safety	Overvoltage protection: 32 V DC, 36 V DC with 4 mA ... 20 mA Short-circuit protection: Qi, towards M Reverse polarity protection: L* to M Protection class: III
Isolation voltage	500 V DC
CE-conformity	Pressure equipment directive: 2014/68/EU, EMC directive: 2014/30/EU, EN 61 326-2-3
Weight sensor	Approx. 80 g
Seal	NBR
Enclosure rating	IP67
Protection class III	✓
Reference conditions	Reference conditions: According to IEC 61298-1
MTTF	815 years
<small>1) The pressure transmitter must be supplied with power by a limited energy circuit compliant with 9.3 of UL/EN/IEC 601010-1 or LPS to UL/EN/IEC 60950-1 or Class 2 to UL 1310/UL1585 (NEC or CEC). The power supply must be suitable for operation above 2,000 m if the pressure transmitter is used above this altitude.</small>	
PERFORMANCE	
Non-linearity	≤ ± 0.5 %, (Best Fit Straight Line, BFSL) according to IEC 61298-2
Accuracy	≤ ± 1 % of the span
Adjustment accuracy of zero signal	≤ 0.5 % of span typ., ≤ 0.8 % of span max. (with non-linearity 0.5 %)
Hysteresis	≤ 0.16 % of the span
Non-repeatability	≤ 0.1 % of the span
Response time	< 4 ms

Εικόνα 63: Τεχνικά χαρακτηριστικά PBT-RB010SG1SSNAMA0Z

5.6.6 Αισθητήρας μέτρησης κενού

Όμοια για τη μέτρηση της τιμής του κενού που δημιουργούν οι αντλίες κενού στο κεντρικό δίκτυο σε σημείο του δικτύου πριν την εισαγωγή στην παραγωγή τοποθετήθηκε ένας αισθητήρας μέτρησης κενού της εταιρίας SICK και συγκεκριμένα ο **PBT-CB1X0SG1SSNAMA0Z**. Στην επόμενη εικόνα απεικονίζεται ο αισθητήρας κενού που χρησιμοποιήθηκε. Τεχνικές λεπτομέρειες παρουσιάζονται στην ακόλουθη εικόνα και περισσότερα στοιχεία στη σελίδα του κατασκευαστή [32].



Εικόνα 64: Αισθητήρας κενού SICK

Pressure type	Compound pressure
Pressure unit	bar
Measuring range	-1 bar ... 0 bar
Process temperature	0 °C ... +80 °C
Output signal	4 mA ... 20 mA, 2-wire
Specialty	Without
MECHANICS/ELECTRONICS	
Process connection	G 1/4 A according to DIN 3852-E
Wetted parts	Pressure Connection: stainless steel 316L Pressure sensor: stainless steel 316L (for measurement ranges from 0 bar ... 10 bar rel stainless steel 13-8 PH)
Internal transmission fluid	Silicone oil (only with pressure ranges < 0 bar ... 10 bar and ≤ 0 bar abs ... 25 bar abs)
Pressure port	Standard
Housing material	Stainless steel
Connection type	Round connector M12 x 1, 4-pin, IP67
Supply voltage	8 V DC ... 30 V DC with output signal 4 mA ... 20 mA and 0 V ... 5 V 14 V DC ... 20 V DC with output signal 0 V ... 10 V 8 V DC ... 30 V DC 1)
Power consumption	Signal current (max. 25 mA) for current output Max. 8 mA for voltage output signal
Electrical safety	Overvoltage protection: 32 V DC, 36 V DC with 4 mA ... 20 mA Short-circuit protection: Q ₄ towards M Reverse polarity protection: L* to M Protection class III
Isolation voltage	500 V DC
CE-conformity	Pressure equipment directive: 2014/68/EU, EMC directive: 2014/30/EU, EN 61 326-2-3
Weight sensor	Approx. 80 g
Seal	NBR
Enclosure rating	IP67
Protection class III	✓
Reference conditions	Reference conditions: According to IEC 61298-1
MTTF	815 years
1) The pressure transmitter must be supplied with power by a limited energy circuit compliant with 9.3 of UL/EN/IEC 601010-1 or LPS to UL/EN/IEC 60950-1 or Class 2 to UL 1310/UL1585 (NEC or CEC). The power supply must be suitable for operation above 2,000 m if the pressure transmitter is used above this altitude.	
PERFORMANCE	
Non-linearity	≤ ± 0.5 %, (Best Fit Straight Line, BFSL) according to IEC 61298-2
Accuracy	≤ ± 1 % of the span
Adjustment accuracy of zero signal	≤ 0.5 % of span typ., ≤ 0.8 % of span max. (with non-linearity 0.5 %)
Hysteresis	≤ 0.16 % of the span
Non-repeatability	≤ 0.1 % of the span

Εικόνα 65: Τεχνικά χαρακτηριστικά PBT-CB1X0SG1SSNAMA0Z

Στην εικόνα 53 φαίνεται η τοποθέτηση του συγκεκριμένου αισθητήρα. Το εύρος μέτρησης είναι -1 με 0 bar. Το αναλογικό σήμα εξόδου είναι σήμα ρεύματος 4-20mA.

Στο σημείο αυτό έχει ολοκληρωθεί πλέον η παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο σχεδιάστηκε το σύστημα SCADA καθώς μετά και την επιλογή των απαραίτητων υλικών είναι πλέον ξεκάθαρη η εικόνα του. Στο κεφάλαιο που θα ακολουθήσει αφού γίνει μία σύντομη παρουσίαση του ολοκληρωμένου περιβάλλοντος TIA Portal V14 της Siemens, που χρησιμοποιήθηκε για την διαμόρφωση και τον προγραμματισμό του συστήματος, θα παρουσιαστεί ο κώδικας που αναπτύχθηκε σε γλώσσα Ladder για τη λειτουργία του.

Κεφάλαιο 6 - Ανάπτυξη προγράμματος

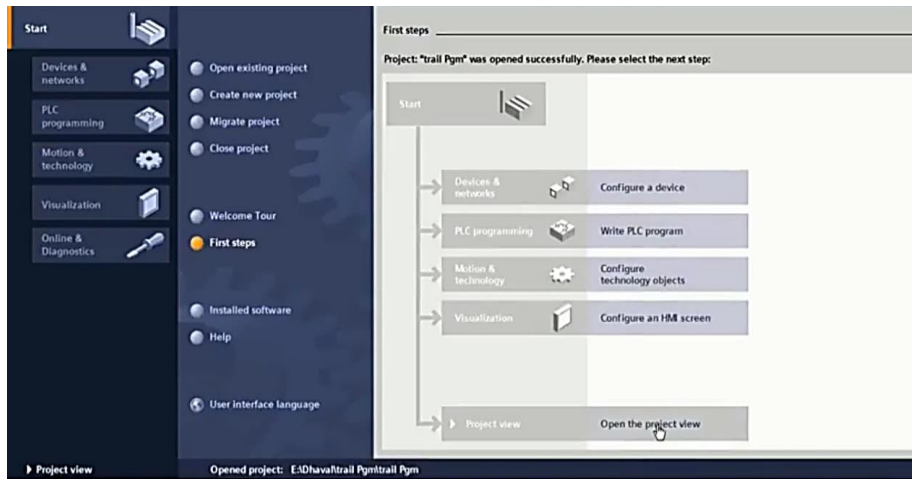
Το παρόν κεφάλαιο ξεκινά με μία γενική παρουσίαση του περιβάλλοντος της Siemens TIA Portal V14 στην οποία αναφέρονται ενδεικτικά οι κύριες δυνατότητες της συγκεκριμένης σουίτας για την ανάπτυξη ενός project αυτοματισμού. Στη συνέχεια η υποενότητα 6.2 αναφέρεται στη διαμόρφωση και την παραμετροποίηση των συσκευών ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν και αποτελούν το hardware μέρος του συστήματος SCADA. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και στην υποενότητα 6.3 όπου γίνονται οι απαραίτητες ρυθμίσεις για την εγκατάσταση του δικτύου επικοινωνίας Profinet πάνω στο οποίο ανταλλάσσουν δεδομένα το κεντρικό PLC και το remote I/O του συστήματος. Ακολουθώντας στην υποενότητα 6.4 παρουσιάζεται και αναλύεται ο κώδικας που αναπτύχθηκε σε μορφή Ladder για κάθε κατηγορία συστήματος που ενσωματώθηκε στο SCADA. Επιπλέον στην ίδια υποενότητα παρατίθενται και τα αντίστοιχα tag tables με τις μεταβλητές κάθε κατηγορίας ξεχωριστά. Το κεφάλαιο αυτό κλείνει με μία αναφορά στη main συνάρτηση του προγράμματος (Organization Block 1 – OB1) η οποία εμπεριέχει τις συναρτήσεις που αναπτύχθηκαν για τον έλεγχο των συστημάτων που παρακολουθούνται από το σύστημα SCADA.

6.1 Περιβάλλον TIA Portal

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο για την διαμόρφωση και τη διαχείριση των συσκευών (PLC) και των προϊόντων της, η εταιρία Siemens έχει αναπτύξει και κυκλοφορεί τα τελευταία χρόνια μία σουίτα εργαλείων που ονομάζεται Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal). Το πακέτο αυτό δίνει πολλές δυνατότητες στον χρήστη να αναπτύξει ένα project αυτοματισμού. Οι κυριότερες εκ των οποίων είναι οι ακόλουθες:

1. Ο χρήστης μπορεί να διαμορφώσει κατάλληλα τον ελεγκτή της εταιρίας που έχει επιλέξει.
2. Μπορεί να προσθέσει τα απαραίτητα module όπως signal modules (DI, DO, AI, AO, DI/DO, AI/AO), communication modules, HMI οθόνες κ.α.
3. Να καθορίσει την τοπολογία και το είδος του δικτύου επικοινωνίας που έχει στηθεί.
4. Να δημιουργήσει και να ορίσει τις μεταβλητές των προγραμμάτων που δημιουργεί.
5. Να αναπτύξει τους κώδικες του σε οποιαδήποτε από τις ακόλουθες μορφές (Ladder, Function Blocks, SCL, STL).
6. Να εκτελέσει διαγνωστικούς ελέγχους και simulation στους κώδικες που αναπτύσσει
7. Να κατεβάσει τα προγράμματα που έχει αναπτύξει σε κάποιο PLC.

Έτσι για την δημιουργία του εν λόγω project χρησιμοποιήθηκε η σουίτα TIA Portal της Siemens και συγκεκριμένα η έκδοση V14. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν βήμα προς βήμα οι κυριότερες φάσεις της ανάπτυξης του προγράμματος που τρέχει στο κεντρικό PLC του συστήματος SCADA μέσα από φωτογραφίες που απεικονίζουν την πορεία της διαδικασίας.

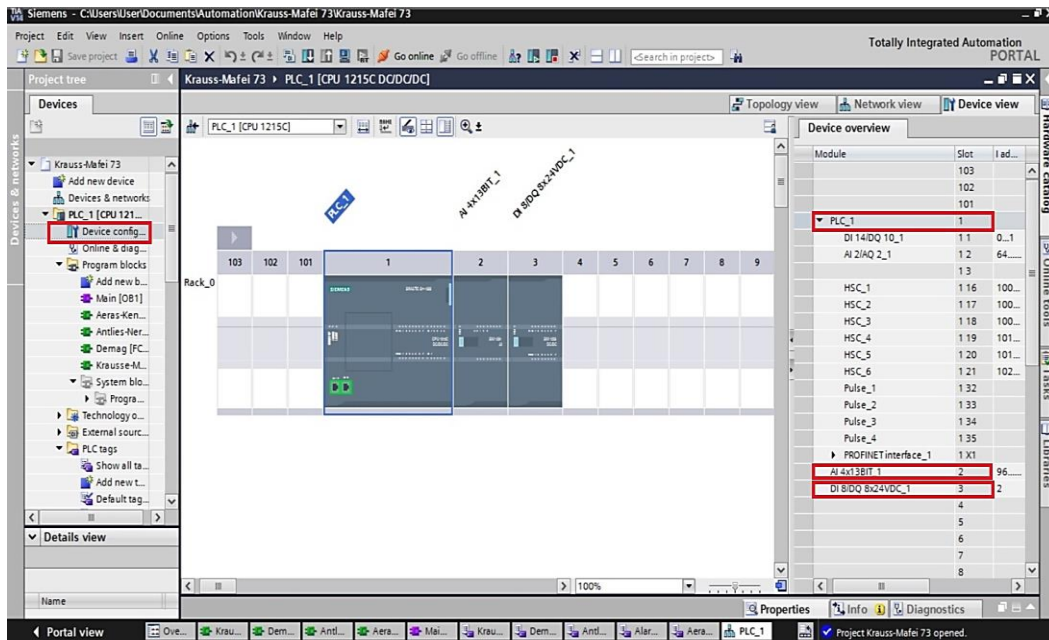


Εικόνα 66: Αρχική οθόνη TIA Portal V14

6.2 TIA Portal - Device configuration

Σε αυτή την υποενότητα θα γίνει η παρουσίαση του device configuration των συσκευών του συστήματος SCADA μέσα από το περιβάλλον του TIA Portal V14.

Στην ακόλουθη εικόνα στο επάνω αριστερό μέρος βρίσκεται το tab **device configuration** το οποίο εμφανίζει τη διάταξη του Rack 0 στο οποίο βρίσκεται το PLC S7 1200 που χρησιμοποιήθηκε καθώς και τα 2 επιπλέον signal modules 4 AI και 8 DI/DO για τα αναλογικά σήματα εισόδου και τα επιπλέον ψηφιακά αντίστοιχα. Επιπρόσθετα στην δεξιά πλευρά της εικόνας στο tab **device overview** είναι εμφανή τα ονόματα που έχουν οι συγκεκριμένες συσκευές στο project και τα αντίστοιχα slots που αυτά βρίσκονται.



Εικόνα 67: Device configuration του PLC, του AI και του DI/DO modules

Στην εικόνα 68 παρουσιάζεται η διευθυνσιοδότηση των bytes για τα σήματα εισόδων και εξόδων τόσο του PLC όσο και των 2 signal modules.

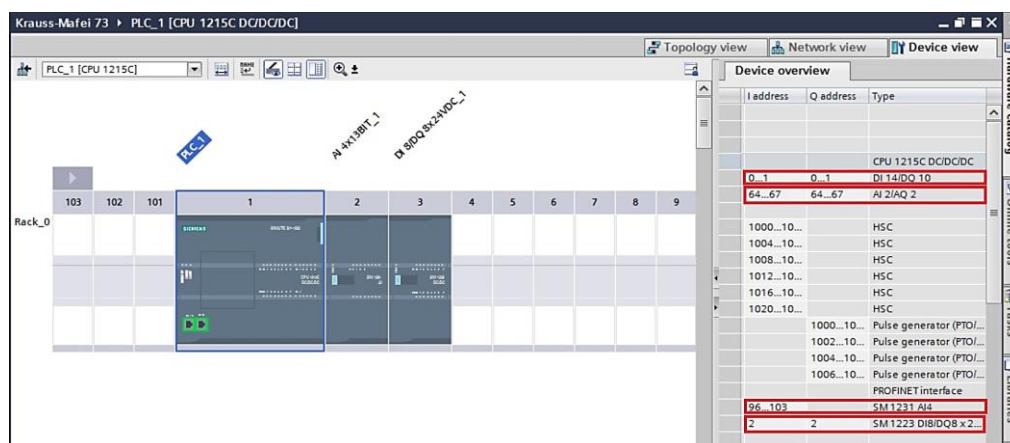
Αναλυτικότερα στο επάνω δεξιά μέρος της εικόνας για τον ελεγκτή **CPU 1215C DC/DC/DC** οι 14 ψηφιακές εισοδοι που είναι ενσωματωμένες πάνω στο PLC αντιστοιχούν στα **byte 0** και **byte 1** του **I address**, με την τιμή κάθε εισόδου ξεχωριστά να αντιστοιχεί σε ένα bit πληροφορίας (Boolean value). Έτσι η αρίθμηση τους ξεκινά με το bit 0.0 για την πρώτη ψηφιακή είσοδο και φτάνει μέχρι το bit 1.6 για την τελευταία ψηφιακή είσοδο. Αντίστοιχα οι 10 ψηφιακές εξοδοι του PLC που κατανέμονται στα **byte 0** και **byte 1** του **Q address** με την τιμή κάθε εξόδου να καταλαμβάνει επίσης ένα bit πληροφορίας και με την αρίθμηση τους να ακολουθεί την ίδια λογική με τις ψηφιακές εισόδους. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι τα **I address** και **Q address** είναι ουσιαστικά κάποια buffers (process images) τα οποία αποθηκεύουν προσωρινά τις καταστάσεις των φυσικών εισόδων και εξόδων του PLC. Έτσι σε κάθε scan cycle του PLC διαβάζονται τα bits του **I address** process image, χρησιμοποιούνται για επεξεργασία από το πρόγραμμα που τρέχει στο PLC και στο τέλος του scan cycle ανανεώνονται οι εξοδοι του **Q address**.

Επιπλέον για τον ελεγκτή **CPU 1215C DC/DC/DC** μπορούν να παρατηρηθούν τα byte διευθύνσεων εισόδου **I address** για τους μετρητές υψηλής ταχύτητας (High Speed Counter - HSC) που διαθέτει το PLC, όσο και τα byte των διευθύνσεων εξόδου **Q address** για τις παλμικές εξόδους του ελεγκτή.

Στη συνέχεια στο κάτω δεξιά μέρος της εικόνας 68 παρατηρείται το AI module **SM 1231 AI4**. Για το συγκεκριμένο module χρησιμοποιούνται τα **byte 96** μέχρι το **byte 103** του **I address** για την αποθήκευση των αναλογικών τιμών εισόδου από τους δύο

αισθητήρες που του συστήματος SCADA. Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι για την αποθήκευση αναλογικών τιμών απαιτούνται 16 bit πληροφορίας (2 bytes) και όλη αυτή η πληροφορία προσπελαίνεται ενιαία και ονομάζεται Word.

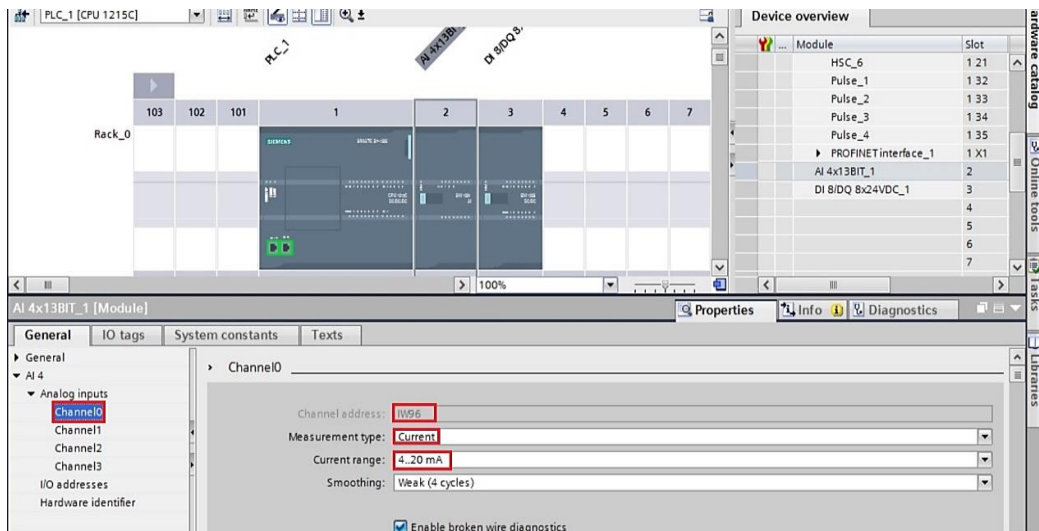
Για το 8 DI/DO module **SM 1223 DI8/DQ8** με την ίδια λογική όπως και παραπάνω στον ελεγκτή **CPU 1215C DC/DC/DC** οι 8 ψηφιακές εισοδοι αντιστοιχούν στο **byte 2** του **I address** ενώ οι 8 ψηφιακές εξοδοι αντιστοιχούν στο **byte 2** του **Q address** αντίστοιχα.



Εικόνα 68: Διευθυνσιοδότηση των εισόδων και εξόδων του συστήματος

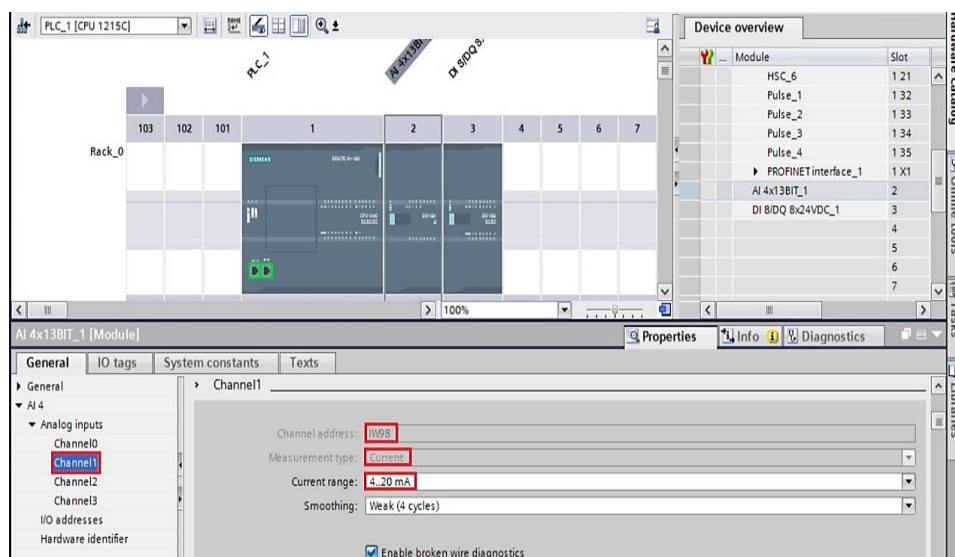
Για το AI module θα πρέπει να γίνει μία επιπλέον διαμόρφωση ώστε να είναι σε θέση να διαβάσει σωστά τα αναλογικά σήματα που δέχεται από τους 2 αισθητήρες πίεσης αέρα και κενού που αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Για την πρώτη περίπτωση του αισθητήρα πίεσης αέρα αφού στο device configuration επιλεγεί η μονάδα **AI 4x13BIT** επιλέγοντας το tab **General** και στη συνέχεια το **Channel0** δίνεται η δυνατότητα παραμετροποίησης του συγκεκριμένου καναλιού εισόδου. Για τις ανάγκες της εφαρμογής που αναπτύχθηκε στο Channel address επιλέχθηκε το **IW96** (Input Word 96), το measurement type είναι **Current** μιας και το σήμα επιστρέφει ο αισθητήρας είναι σήμα ρεύματος και το εύρος του σήματος που επιστρέφει ο αισθητήρας Current range είναι **4-20mA**.



Εικόνα 69: Παραμετροποίηση AI module για τον αισθητήρα πίεσης

Αντίστοιχα πράγματα ισχύουν για την περίπτωση του αισθητήρα μέτρησης κενού με την μόνη διαφορά ότι εδώ χρησιμοποιείται το **Channel1** και στο Channel address επιλέχθηκε το **IW98** μίας και όπως αναφέρθηκε προηγουμένως τα αναλογικά σήματα καταλαμβάνουν 2 bytes.

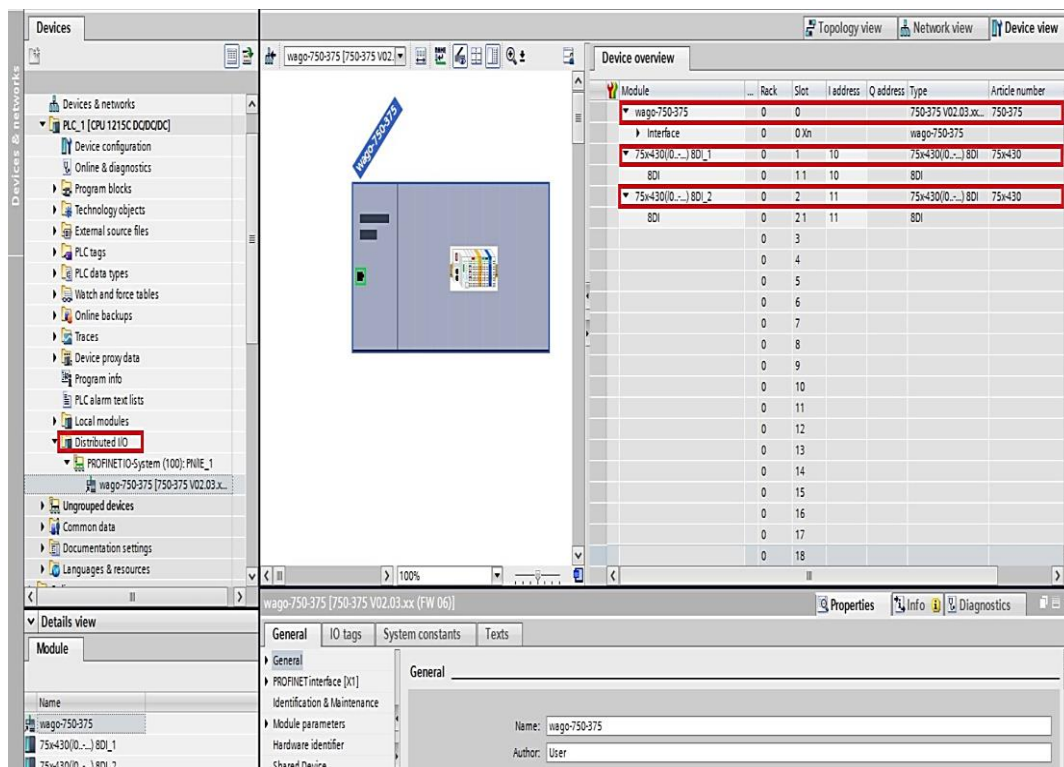


Εικόνα 70: Παραμετροποίηση AI module για τον αισθητήρα κενού

Τέλος η παραμετροποίηση για το Remote I/O της WAGO παρουσιάζεται επόμενη εικόνα.

Επιλέγοντας το tab **Distributed I/O** στην αριστερή στήλη της εικόνας εμφανίζεται στην επιφάνεια μας το Remote I/O με όνομα **WAGO-750-375**. Όπως παρατηρείται και στη δεξιά μεριά της εικόνας 71, η συγκεκριμένη μονάδα αποτελείται από το **PROFINET I/O** interface που είναι υπεύθυνο για την επικοινωνία και ανταλλαγή των δεδομένων με το PLC και 2 επιπλέον μονάδες των 8 ψηφιακών εισόδων με ονόματα **75x-430 8DI_1** και **75x-430 8DI_1** αντίστοιχα, που συλλέγουν τα ψηφιακά

σήματα από τις 2 IMMs. Όπως φαίνεται στην εικόνα 71 για το πρώτο module **75x-430 8DI_1** για την αποθήκευση των 8 ψηφιακών τιμών εισόδου επιλέχθηκε το **byte 10** του **I address**, ενώ για το δεύτερο module **75x-430 8DI_2** επιλέχθηκε το **byte 11** του **I address**.

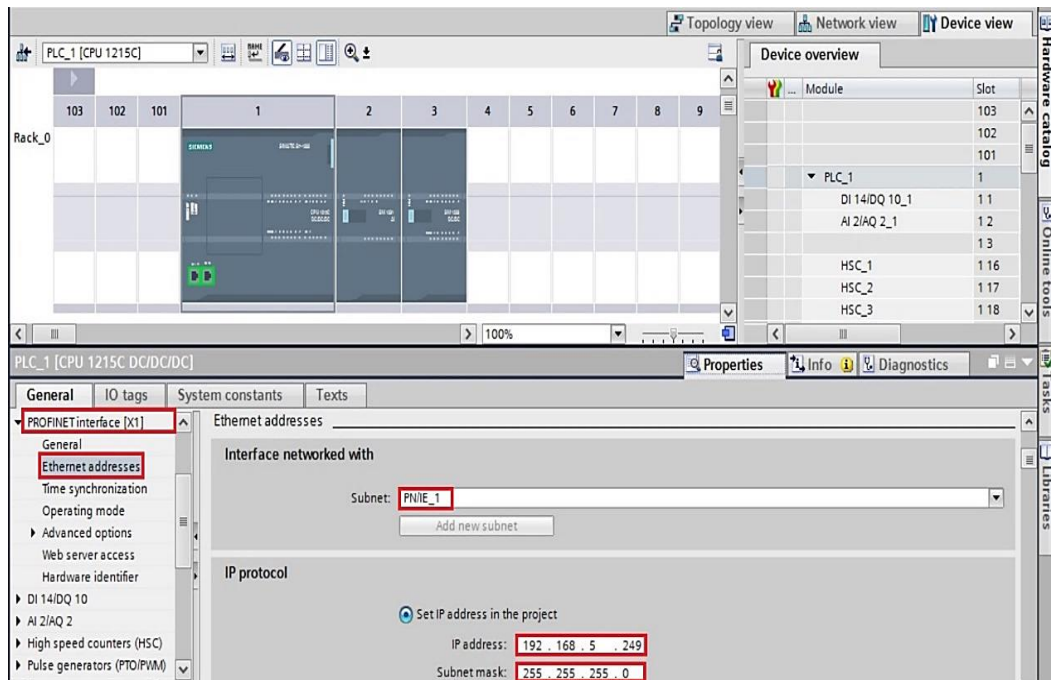


Εικόνα 71: Παραμετροποίηση Remote I/O WAGO

6.3 TIA Portal - Network configuration

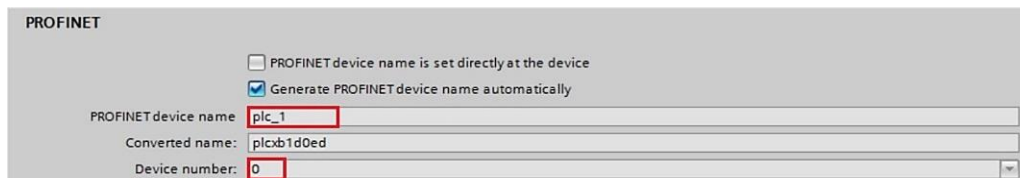
Αφού έγινε η διαμόρφωση του hardware όλων των συσκευών (device configuration) του συστήματος SCADA ακολουθεί η διαμόρφωση και παραμετροποίηση του δικτύου (network configuration) που στήθηκε για την επικοινωνία του κεντρικού PLC S7-1200 με το Remote I/O της WAGO. Όπως ήδη έχει αναφερθεί το δίκτυο επικοινωνίας είναι το PROFINET I/O και στη συνέχεια παρουσιάζεται η διαδικασία του network configuration μέσω του εργαλείου TIA Portal V14.

Στην εικόνα που ακολουθεί αφού επιλεγεί το PLC CPU 1215C στο tab General που εμφανίζεται στο κάτω αριστερά μέρος της εικόνας πατώντας στην επιλογή **PROFINET interface [X1]** εμφανίζεται το tab **Ethernet addresses**. Από εκεί γίνεται ο ορισμός του δικτύου επικοινωνίας πάνω στο οποίο θα ανήκει το PLC και δίνεται το όνομα **PN/IE_1** στο δίκτυο. Ακολούθως ορίζεται η IP διεύθυνση που θα έχει το PLC στο δίκτυο η οποία είναι η **192.168.5.249** καθώς και η μάσκα υποδικτύου που είναι **255.255.255.0**. Η παραπάνω IP διεύθυνση επιλέχθηκε να είναι στατική διεύθυνση και δόθηκε manually χωρίς τη μεσολάβηση router σε συνεννόηση με το τμήμα IT.



Εικόνα 72: Network configuration για το PLC S7-1200

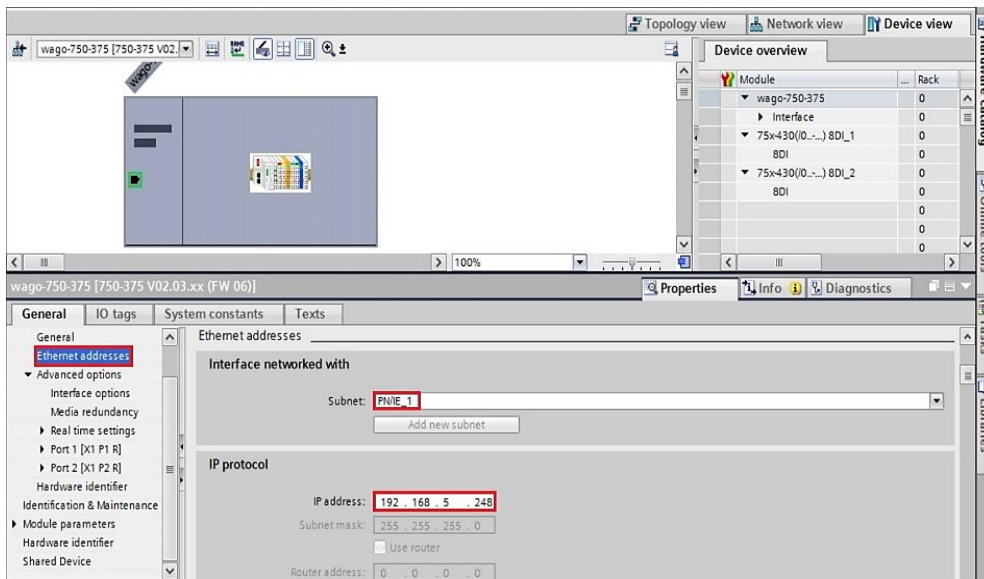
Επιπλέον στην εικόνα 73 και στο ίδιο tab **Ethernet addresses** επιλέχθηκε η αυτόματη δημιουργία ονόματος της συγκεκριμένης συσκευής στο δίκτυο το οποίο ονομάζεται **plc_1** και ο αριθμός της συσκευής στο δίκτυο που εμφανίζεται στο πεδίο device number είναι το **0**.



Εικόνα 73: Δημιουργία ονόματος του PLC στο δίκτυο

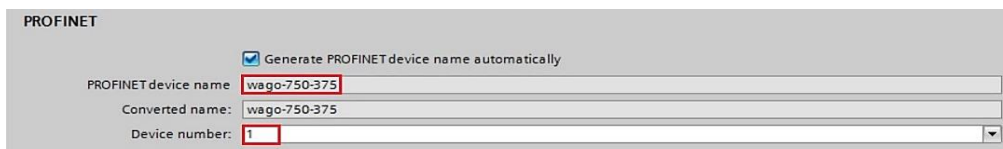
Αντίστοιχα με το PLC του συστήματος για το network configuration του Remote I/O ισχύουν τα ακόλουθα.

Επιλέγοντας το Remote I/O wago-750-375, στο tab General εμφανίζεται και πάλι η επιλογή **Ethernet addresses**. Από εκεί όπως και στην περίπτωση του PLC ορίζεται το δίκτυο επικοινωνίας στο οποίο θα ανήκει το Remote I/O και είναι το **PN/IE_1**, το ίδιο δηλαδή με το PLC. Στη συνέχεια ορίζεται η IP διεύθυνση που θα έχει το Remote I/O η οποία είναι η **192.168.5.248**. Και στην περίπτωση αυτή παρατηρείται ότι η μάσκα υποδικτύου είναι 255.255.255.0 μίας και είναι απαραίτητο οι δύο συσκευές να ανήκουν στο ίδιο δίκτυο για να επικοινωνούν. Επίσης και εδώ η συγκεκριμένη IP είναι στατική, και όπως φαίνεται και στην εικόνα 74 η επιλογή του router είναι απενεργοποιημένη.



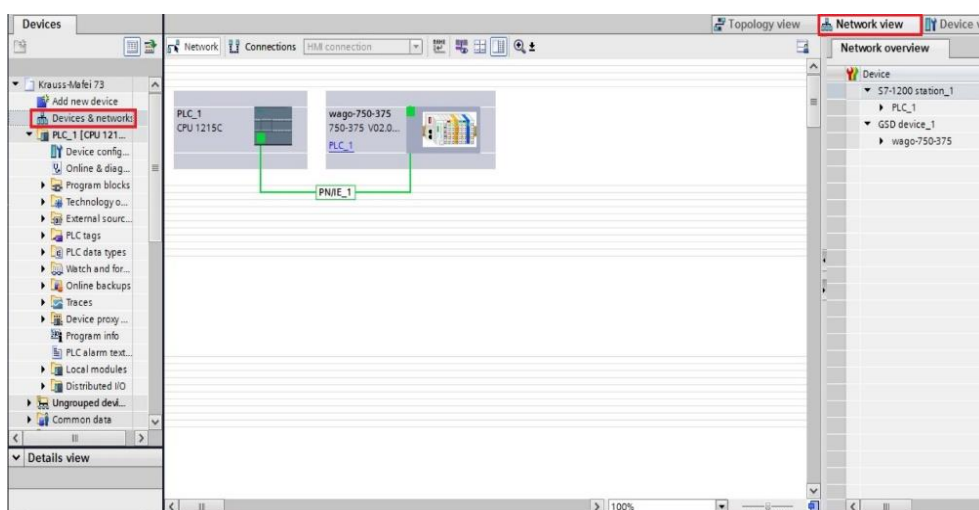
Εικόνα 74: Network configuration για το Remote I/O WAGO 750-375

Επίσης στο tab **Ethernet addresses** το όνομα της συγκεκριμένης συσκευής στο δίκτυο, που προκύπτει από την αυτόματη επιλογή ονόματος, είναι **wago-750-375** και το πεδίο device number είναι το **1**. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στην εικόνα 75.



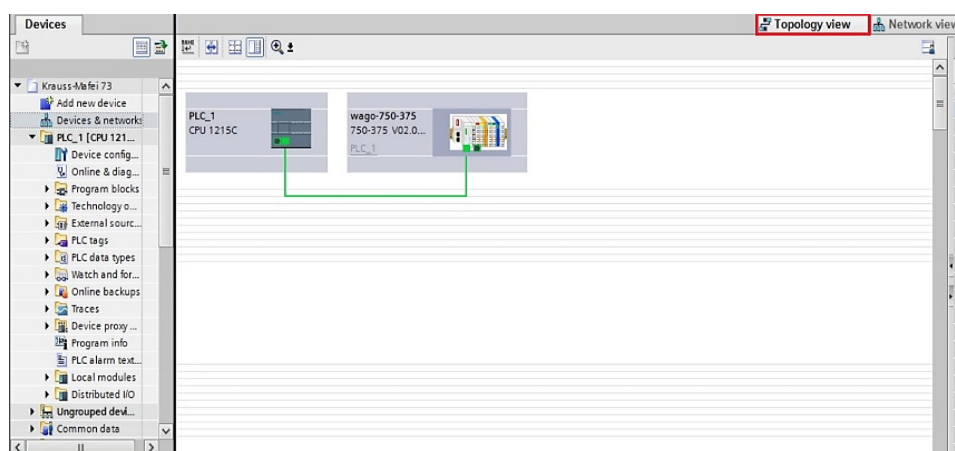
Εικόνα 75: Δημιουργία ονόματος του Remote I/O στο δίκτυο

Όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 76 επιλέγοντας αρχικά το tab **Device & networks** και στη συνέχεια πάνω δεξιά **Network view** απεικονίζεται η τοπολογία του δικτύου και η σύνδεση των 2 συσκευών μέσω του καναλιού **PN/IE_1**.



Εικόνα 76: Τοπολογία του δικτύου

Τέλος στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται η ακριβή σύνδεση των διεπαφών των δύο συσκευών με την πρώτη θύρα Profinet του Remote I/O να συνδέεται στην δεύτερη κατά σειρά θύρα Profinet του PLC.



Εικόνα 77: Σύνδεση διεπαφών μεταξύ PLC και Remote I/O

6.4 Μεταβλητές (Tags) και κωδικές για τα συστήματα του SCADA

Έχοντας διαμορφώσει και παραμετροποιήσει το υλικό που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη του συστήματος SCADA θα ακολουθήσει η παρουσίαση των μεταβλητών και του κώδικά που αναπτύχθηκε για κάθε κατηγορία συστήματος ξεχωριστά που ενσωματώθηκε στο SCADA. Με βάση αυτή τη λογική στις υποενότητες 6.4.1 έως 6.4.4 θα ακολουθήσουν τα προγράμματα σε μορφή Ladder και οι μεταβλητές για τα εξής συστήματα:

1. IMM Krauss Maffei (Μηχανή No 73)
2. IMM Sumitomo Demag (Μηχανή No 28)
3. Αντλίες κυκλοφορίας νερού
4. Σύστημα πεπιεσμένου αέρα και κενού

6.4.1 Program block και tag table για την IMM Krauss Maffei

Προτού ξεκινήσει η ανάπτυξη του προγράμματος για την παρακολούθηση της IMM τύπου Krauss Maffei η οποία είναι η μηχανή με νούμερο 73 στην γραμμή παραγωγής του εργοστασίου θα πρέπει να οριστούν οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν από το συγκεκριμένο πρόγραμμα.

Οι μεταβλητές στο περιβάλλον του TIA Portal ονομάζονται Tags και είναι συμβολικά ονόματα. Στο πρόγραμμα που αναπτύχθηκε οι μεταβλητές αποθηκεύονται στην global memory του PLC και ανήκουν στην κατηγορία Input process image (Inputs), για τα σήματα εισόδου και Memory area (Bit Memory), για όλων των άλλων ειδών τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται είτε για αποθήκευση ενδιάμεσων αποτελεσμάτων είτε για αποθήκευση των τελικών τιμών. Οι μεταβλητές αυτές αποτελούν θέσεις

μνήμης οι οποίες προσπελαύνονται ή ως μεμονωμένα **bit** ή ως **byte (8bit)** ή ως **Word (16bit)** ή τέλος ως **DWord (32bit)**.

Για το πρόγραμμα της μηχανής 73 οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν αποθηκεύτηκαν ως ένα ενιαίο tag table με όνομα **Krauss_Maffei_Tags**. Για τον ορισμό του tag table επιλέχθηκε το tab **PLC_1[CPU 1215C DC/DC/DC]** και στη συνέχεια μέσα από την καρτέλα **PLC tags** δημιουργήθηκε το tag table **Krauss_Maffei_Tags** το οποίο όπως είναι προφανές αποτελείται από 36 tags. Η εικόνα 78 παρουσιάζει αυτή τη διαδικασία, όπως επίσης και τα ονόματα που δόθηκαν σε κάθε μία μεταβλητή μαζί με τις αντίστοιχες θέσεις μνήμης που καταλαμβάνει η κάθε μία. Είναι εύκολο να διακρίνει κανείς ότι οι μεταβλητές που αποτελούν είσοδο στο συγκεκριμένο πρόγραμμα αναγράφονται με το αρχικό **%I** ενώ όλες οι υπόλοιπες στις οποίες αποθηκεύονται ενδιάμεσες ή τελικές τιμές αναγράφονται με το αρχικό **%M**. Επίσης μέσα από το tag table εμφανίζεται ο τύπος δεδομένων της κάθε μεταβλητής καθώς και η διεύθυνσή της.

Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1 iMouldClosed1	Bool	%I0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2 iInjectionComplete	Bool	%I0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3 iPlasticising	Bool	%I0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4 iMouldOpen1	Bool	%I0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5 iCylinderHeating	Bool	%I0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6 iFullAutomaticOper	Bool	%I0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7 iFault1	Bool	%I0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8 iMouldOpening	Bool	%I0.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9 Trig1	Bool	%M0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10 Trig2	Bool	%M0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11 Trig3	Bool	%M0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12 Trig4	Bool	%M0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13 MouldNotOpenMem	Bool	%M0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14 MouldCloseMem	Bool	%M0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15 MouldOpenAgain	Bool	%M0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16 MouldCycleOk	Bool	%M0.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17 MachineCycleTime1	Time	%MD12		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18 MachineTimeWithoutRobReg	Bool	%M1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19 Trig5	Bool	%M1.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20 MachineTimeWithoutRob1	Time	%MD16		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21 InjectionBPieshReg1	Bool	%M1.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22 InjectionBPieshReg2	Bool	%M1.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23 InjectionBPieshMetrish	Bool	%M1.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24 Trig6	Bool	%M1.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25 InjectionBPieshTime1	Time	%MD20		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26 CoolingTime1Reg1	Bool	%M1.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27 CoolingTime1Reg2	Bool	%M1.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

Εικόνα 78: Krauss_Maffei_Tags με τα 27 πρώτα tags

Στην επόμενη εικόνα φαίνονται και οι υπόλοιπες μεταβλητές του συγκεκριμένου tag table.

Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
28 KMetrishPsychs	Bool	%M2.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29 Trig7	Bool	%M2.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30 CoolingTime1	Time	%MD24		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31 PlasticisingReg1	Bool	%M2.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32 Trig8	Bool	%M2.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33 PlasticisingTime1	Time	%MD28		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
34 CylinderHeating1	Bool	%M2.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
35 FullAutomaticOper1	Bool	%M2.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
36 Fault1	Bool	%M2.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

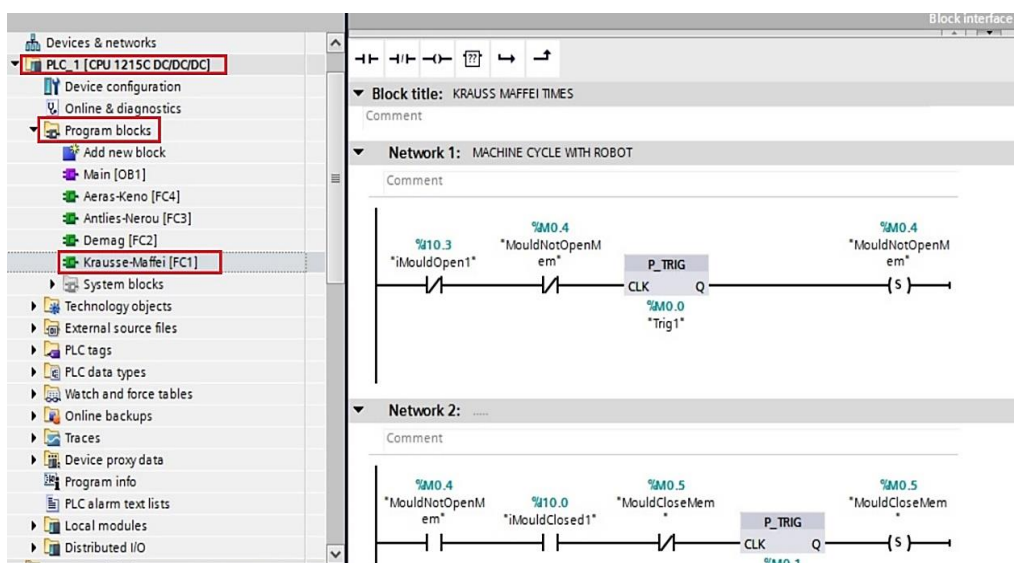
Εικόνα 79: Krauss_Maffei_Tags με τις υπόλοιπες μεταβλητές

Ακολουθώς ο κώδικας που αφορά την παρακολούθηση της μηχανής Krauss Maffei αποτελεί μίας συνάρτηση. Για τη δημιουργία αυτής της συνάρτησης επιλέχθηκε το tab **PLC_1[CPU 1215C DC/DC/DC]** και στη συνέχεια μέσω της επιλογής **Program blocks** δημιουργήθηκε η συνάρτηση **Krauss-Maffei [FC1]**.

Αρχικά στη συγκεκριμένη συνάρτηση, η οποία είναι η πρώτη (FC1-Function1) του όλου προγράμματος, γίνεται υπολογισμός του **χρόνου κύκλου της μηχανής**. Ο χρόνος αυτός υπολογίζεται μεταξύ δύο διαδοχικών στιγμών ανοίγματος του καλουπιού της μηχανής και για τον υπολογισμό του χρησιμοποιούνται τα σήματα εισόδου **iMouldOpen1** και **iMouldClosed1**.

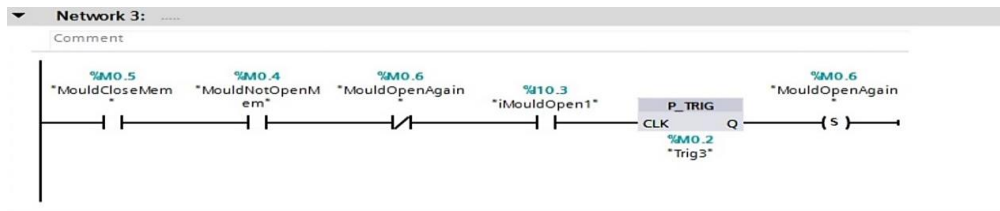
Με βάση αυτή τη λογική και σύμφωνα με τα όσα αναφέρθηκαν στην υποενότητα 5.3 για το ρόλο των παραπάνω σημάτων στο Network 1 τη χρονική στιγμή της απενεργοποίησης του σήματος **iMouldOpen1** δημιουργείται ένας θετικός σκανδαλισμός και “σετάρεται” ένα bit στη μνήμη με όνομα **MouldNotOpenMem** το οποίο υποδηλώνει την διακριτή κατάσταση που το καλούπι ξεκινά να κλείνει.

Ακολουθώς, στο Network 2 όσο το **MouldNotOpenMem** παραμένει “σεταρισμένο” και το σήμα **iMouldClosed1** ενεργοποιηθεί σετάρεται ένα επιπλέον bit που υποδηλώνει την διακριτή κατάσταση ότι το καλούπι έκλεισε (**MouldCloseMem**).



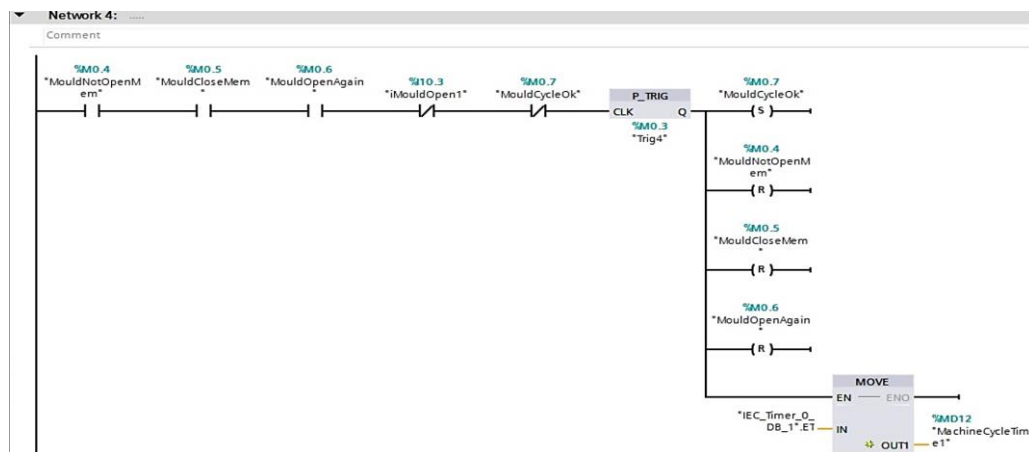
Εικόνα 80: Machine cycle with robot – Network 1 & 2

Στο Network 3 ακολουθώντας την ίδια λογική όσο χρονικό διάστημα τα bits **MouldNotOpenMem** και **MouldCloseMem** παραμένουν σεταρισμένα και μόλις το σήμα **iMouldOpen1** ενεργοποιηθεί, σετάρτετε ένα ακόμη bit που υποδηλώνει την κατάσταση ότι το καλούπι άνοιξε ξανά (**MouldOpenAgain**).



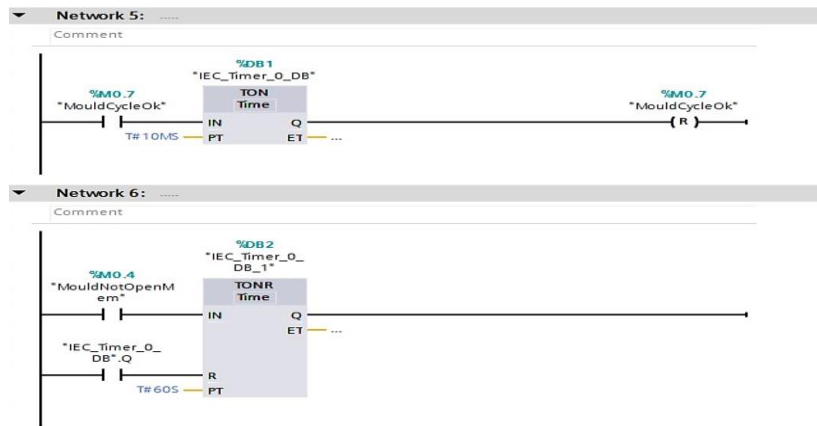
Εικόνα 81: Machine cycle with robot – Network 3

Στη συνέχεια στο Network 4 τη χρονική στιγμή που ισχύουν οι 3 παραπάνω προϋποθέσεις που περιγράφονται στα 3 πρώτα Networks και ταυτόχρονα απενεργοποιηθεί ξανά το σήμα **iMouldOpen1**, πράγμα που σηματοδοτεί πλέον το τέλος ενός πλήρους κύκλου της μηχανής σετάρτετε ένα bit με όνομα **MouldCycleOk**. Τα υπόλοιπα bits που είχαν σεταριστεί στην αρχή γίνονται τώρα reset και ακριβώς αυτή τη χρονική στιγμή που το bit **MouldCycleOk** βρεθεί σε κατάσταση λογικού 1 ενεργοποιείται η εντολή **MOVE** και ο χρόνος που έχει μετρήσει ο timer **IEC_Timer_0_DB_1** αποθηκεύεται στη μεταβλητή **MachineCycleTime1**.



Εικόνα 82: Machine cycle with robot – Network 4

Στα Networks 5 και 6 παρουσιάζεται η χρήση ενός επιπλέον timer συγκεκριμένα του **IEC_Timer_0_DB** οποίος μετρά 10 ms από τη στιγμή που θα ενεργοποιηθεί το bit **MouldCycleOk** μέχρι να γίνει reset. Ο συγκεκριμένος timer χρησιμοποιείται για να δοθεί ο απαραίτητος χρόνος στον timer **IEC_Timer_0_DB_1** ώστε να προλάβει να αποθηκεύσει την τιμή που έχει μετρήσει, από τη χρονική στιγμή ενεργοποίησης του σήματος **MouldNotOpenMem** μέχρι να γίνει reset, στην μεταβλητή **MachineCycleTime1**.

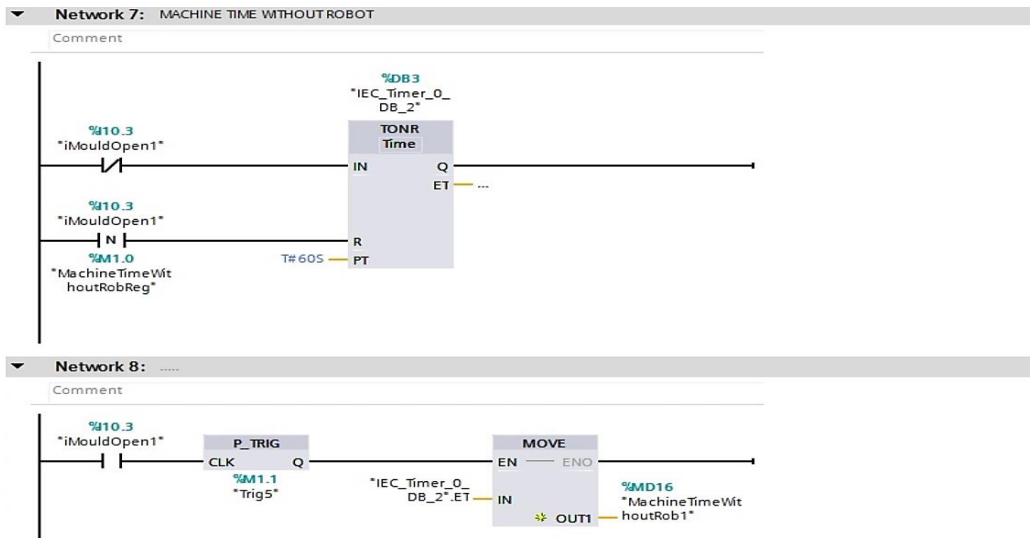


Εικόνα 83: Machine cycle with robot – Network 5 & 6

Στη συνέχεια του κώδικά γίνεται υπολογισμός του χρόνου κύκλου της μηχανής για την παραγωγή του προϊόντος χωρίς όμως να προσμετράται σε αυτόν το χρόνο το διάστημα που το καλούπι παραμένει ανοιχτό, προκειμένου το ρομπότ να εξυπηρετήσει τη μηχανή.

Για τον υπολογισμό αυτού του χρόνου χρησιμοποιείται ο timer **IEC_Timer_0_DB_2** ο οποίος ξεκινά τη μέτρηση όταν απενεργοποιηθεί (μετάβαση στο λογικό 0) το σήμα εισόδου **iMouldOpen1**, χρονική στιγμή που ξεκινάει το κλείσιμο του καλουπιού, και για όσο χρόνο αυτό είναι απενεργοποιημένο. Ταυτόχρονα η αρνητική μετάβαση του σήματος **iMouldOpen1** κάνει reset τον timer ώστε να ξεκινήσει την καινούργια μέτρηση. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στο Network 7 του κώδικα της FC1.

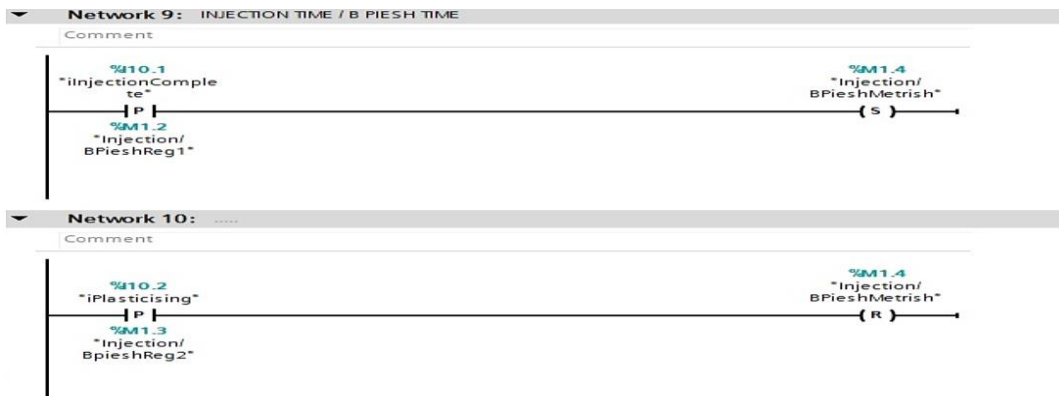
Ακολουθως όπως φαίνεται στο Network 8 όταν το σήμα **iMouldOpen1** ενεργοποιηθεί δημιουργείται ένας θετικός σκανδαλισμός από το στοιχείο **P_TRIG** και η τιμή που έχει μετρήσει ο timer από αποθηκεύεται στη μεταβλητή **MachineTimeWithoutRob1**. Το στοιχείο **P_TRIG** μπροστά από την εντολή **MOVE** ενεργοποιείται αστραπιαία μόλις ενεργοποιηθεί το σήμα **iMouldOpen1** και στη συνέχεια απενεργοποιείται ξανά. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι γιατί έτσι η μετρούμενη τιμή του timer παραμένει σταθερή μέχρι την επόμενη μέτρηση χωρίς να μηδενίζει και να ξεκινά πάλι από την αρχή.



Εικόνα 84: Machine cycle without robot

Η επόμενη μέτρηση χρόνου για την μηχανή 73 είναι ο χρόνος που διαρκεί η φάση της Έγχυσης και Β-πίεσης μαζί.

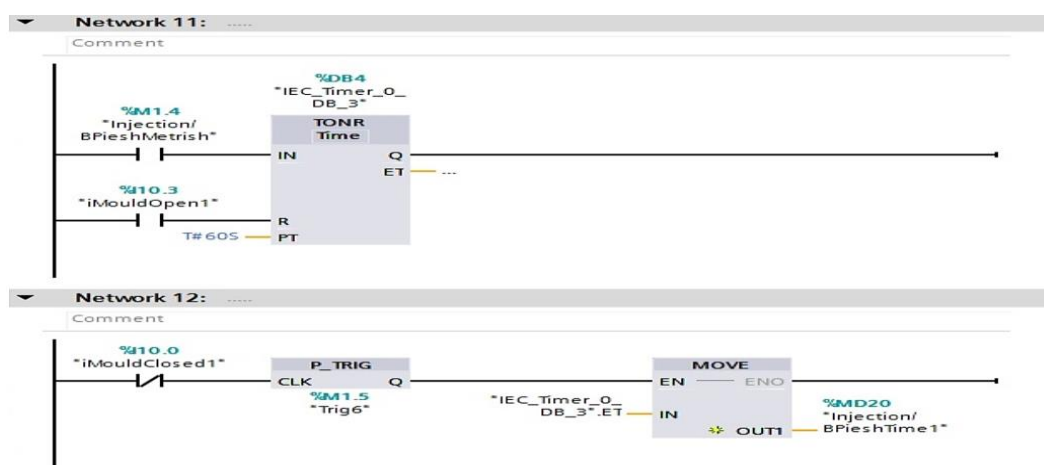
Όπως παρουσιάζεται στο Network 9 της εικόνας 85 με τη θετική μετάβαση του σήματος **iInjectionComplete** σετάρεται ένα bit στη μνήμη που ονομάζεται **Injection/BPieshMetrish** ενώ στο Network 10 η θετική μετάβαση του σήματος **iPlasticising** κάνει reset το συγκεκριμένο bit. Ουσιαστικά όσο χρόνο το bit **Injection/BPieshMetrish** παραμένει σεταρισμένο (λογικό 1) τόσο χρόνο διαρκεί η Έγχυση και η Β-Πίεση μαζί. Μίας και η ενεργοποίηση του σήματος **iPlasticising** δηλώνει το τέλος της φάσης Β-πίεση και την αρχή της πλαστικοποίησης.



Εικόνα 85: Injection & B-Piesh time – Network 9 & 10

Επομένως για τη μέτρηση του χρόνου έγχυσης και Β-πίεσης μαζί χρησιμοποιείται ο timer **IEC_Timer_0_DB_3** όπως φαίνεται στην εικόνα 86. Η μέτρηση ξεκινά από τη στιγμή που σετάρεται το bit **Injection/BPieshMetrish** και συνεχίζει για όσο χρόνο αυτό παραμένει ενεργοποιημένο. Επιπλέον στο Network 12, με βάση την ίδια λογική που ακολουθήθηκε για τη μέτρηση των παραπάνω χρόνων, με τη μετάβαση του σήματος **iMouldClosed1** σε κατάσταση λογικού 0 δημιουργείται ένας θετικός

σκανδαλισμός και η τιμή του timer **IEC_Timer_0_DB_3** αποθηκεύεται στη μεταβλητή **Injection/BPieshTime1**.

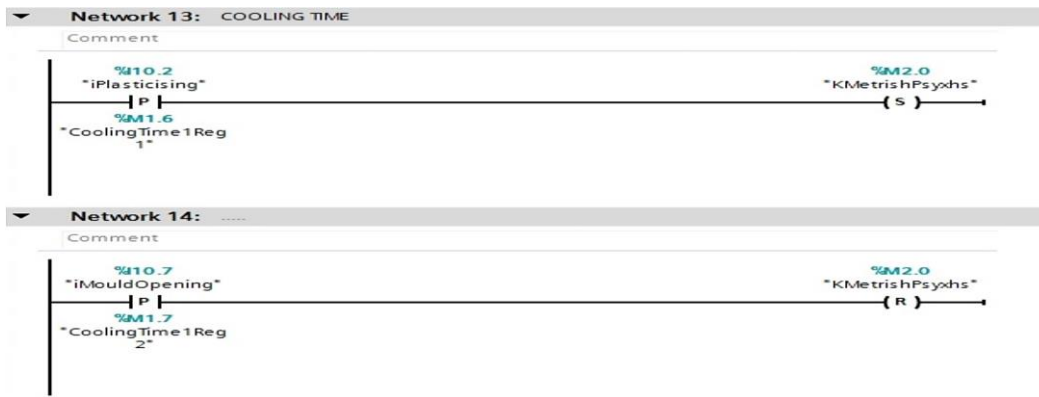


Εικόνα 86: Injection & B-Piesh time – Network 11 & 12

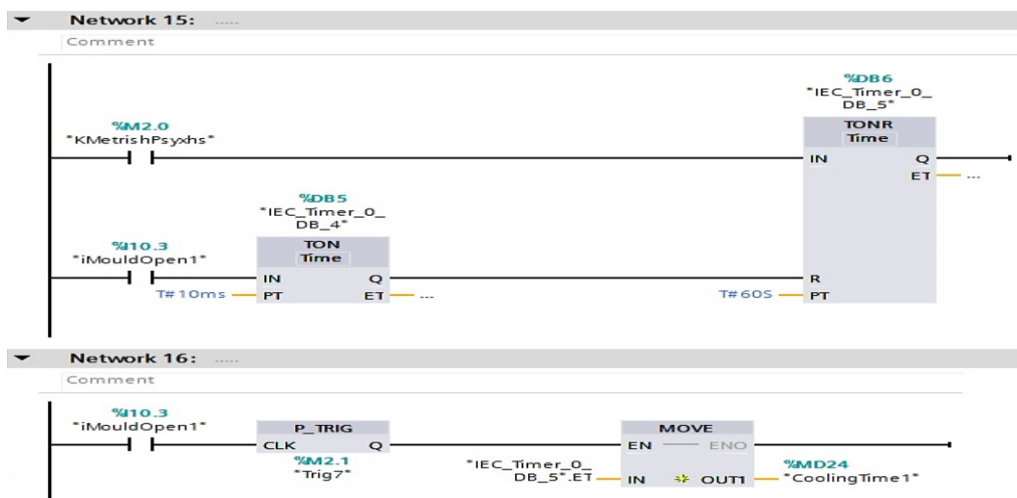
Συνεχίζοντας, ο επόμενος χρόνος που υπολογίζεται για την μηχανή 73 είναι ο **χρόνος ψύξης**. Όπως ήδη έχει αναφερθεί πρόκειται για μία σημαντική παράμετρο για την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων καθώς επίσης και για το χρόνο με τη μεγαλύτερη διάρκεια κατά τη διεργασία IM.

Όπως και για τον υπολογισμό του συνολικού χρόνου Έγχυσης και Β-πίεσης έτσι και εδώ ακολουθείται παρόμοια τεχνική. Γνωρίζοντας ότι η έναρξη της διαδικασίας της πλαστικοποίησης συμπίπτει χρονικά με την έναρξη της ψύξης στο Network 13 της εικόνας 87 η θετική μετάβαση (λογικό 1) του σήματος **iPlasticising** σετάρει ένα bit μνήμης με όνομα **KMetrishPsyxhs**. Αντίθετα, η θετική μετάβαση του σήματος **iMouldOpening**, το οποίο ενεργοποιείται ακριβώς τη χρονική στιγμή που το καλούπι ξεκλειδώνει, επαναφέρει (reset) το bit μνήμης **KMetrishPsyxhs**.

Όπως απεικονίζεται στο Network 15 για τον υπολογισμό του χρόνου ψύξης χρησιμοποιείται ο timer **IEC_Timer_0_DB_5** ο οποίος μετρά για όσο χρονικό διάστημα το bit **KMetrishPsyxhs** είναι σεταρισμένο. Μία παρατήρηση στο συγκεκριμένο κομμάτι του κώδικα είναι ότι χρησιμοποιείται ένας επιπλέον timer ο **IEC_Timer_0_DB_4** ο οποίος δημιουργεί μία τεχνική χρονοκαθυστέρηση 10ms προκειμένου με την ενεργοποίηση του σήματος **iMouldOpen1** στο Network 16 να προλάβει να αποθηκευτεί η τιμή του timer **IEC_Timer_0_DB_5** στη μεταβλητή **CoolingTime1**.

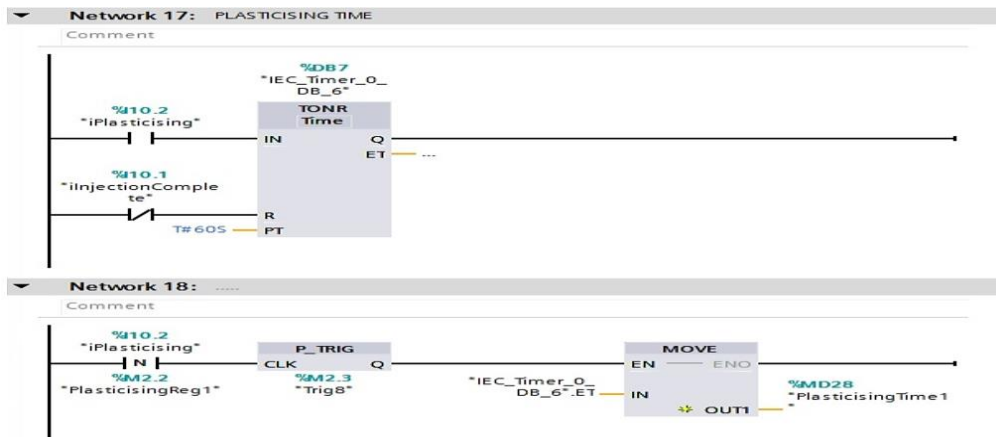


Εικόνα 87: Cooling time – Network 13 & 14



Εικόνα 88: Cooling time – Network 15 & 16

Ο υπολογισμός των βασικών χρόνων της μηχανής 73 κλείνει με τον υπολογισμό του χρόνου πλαστικοποίησης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται το σήμα **iPlasticising** όπως φαίνεται στο Network 17 της ακόλουθης εικόνας. Έτσι ο timer **IEC_Timer_0_DB_6** μετράει τον συγκεκριμένο χρόνο για όσο χρονικό διάστημα το σήμα **iPlasticising** είναι ενεργό, ενώ με την αρνητική του μετάβαση και με τη χρήση ενός **P_TRIG** η μετρούμενη τιμή του αποθηκεύεται στη μεταβλητή **PlasticisingTime1**.

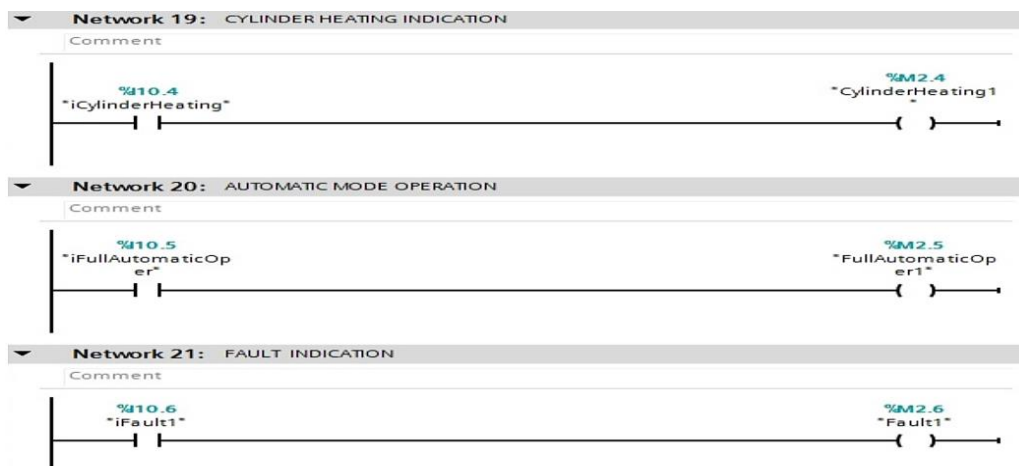


Εικόνα 89: Plasticising time – Network 17 & 18

Στη συνέχεια ακολουθεί το κομμάτι του κώδικα της συνάρτησης FC1 το οποίο αναφέρεται στις ενδείξεις λειτουργίας της IMM Krauss Maffei οι οποίες θα εμφανίζονται στην HMI εφαρμογή του συστήματος SCADA.

Αυτές οι ενδείξεις λειτουργίας αναφέρονται α) στη λειτουργία των αντιστάσεων θέρμανσης της μονάδας έγχυσης, β) στην αυτόματη ή μη λειτουργία της μηχανής και γ) στην παρουσία κάποιου σφάλματος λειτουργίας.

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τον κώδικα για τις συγκεκριμένες ενδείξεις οι οποίες είναι σχετικά απλός. Όπως παρατηρείται οι συγκεκριμένες καταστάσεις αποθηκεύονται στα αντίστοιχα bit μνήμης **CylinderHeating1**, **FullAutomaticOper1** και **Fault1**.

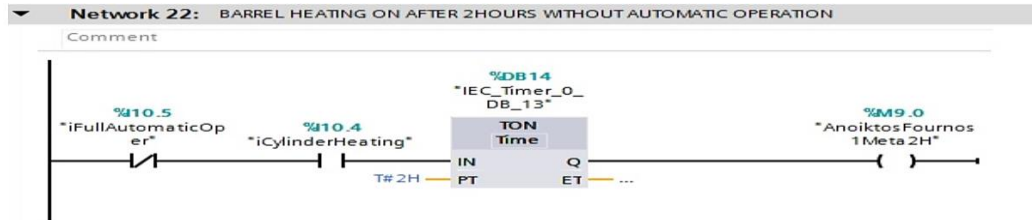


Εικόνα 90: Ενδείξεις λειτουργίας μηχανής 73

Τέλος ο κώδικας της συνάρτησης FC1 που αναφέρεται στην IMM Krauss Maffei κλείνει με ένα τι δημιουργία ενός μηνύματος συναγερμού (alarm). Το συγκεκριμένο μήνυμα θα εμφανίζεται στην αρχική εικόνα της HMI εφαρμογής και θα ειδοποιεί τον χρήστη του SCADA ότι τα θερμικά στοιχεία της μονάδας έγχυσης παραμένουν σε λειτουργία για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 2 ωρών ενώ η μηχανή δεν

βρίσκεται σε αυτόματη λειτουργία. Πράγμα που προλαμβάνει καταστάσεις πιθανής παράλειψης από τους τεχνικούς συντήρησης των μηχανών.

Στο Network 22 παρατίθεται ο σχετικός κώδικας. Οι συγκεκριμένες μεταβλητές είναι αποθηκευμένες στο tag table **Alarm_Tags** το οποίο θα παρουσιαστεί συνολικά στο τέλος του κεφαλαίου μιας και περιέχει alarm tags και από τα υπόλοιπα συστήματα που παρακολουθούνται από το σύστημα SCADA.



Εικόνα 91: Alarm για την μηχανή 73

Krauss-Maffei 73		Demag_Tags							
Name	Data type	Address	Retain	Access...	Writa...	Visibl...	Comment		
1	iMouldClosed2	%I1.0							
2	iFollowUpPressure	%I1.1							
3	iBFlesh	%I1.2							
4	iMouldOpen2	%I1.3							
5	iBarrelHeatingOn	%I1.4							
6	iIMMAutomaticOper	%I1.5							
7	iFault2	%I1.6							
8	DMCReg1	%M2.7							
9	DMCReg2	%M3.0							
10	DMetrish	%M3.1							
11	Trig9	%M3.2							
12	DMCReg3	%M3.3							
13	MachineCycleTime2	%MD32							
14	DMCWRReg	%M3.4							
15	Trig10	%M3.5							
16	MachineTimeWithoutRob2	%MD36							
17	Trig11	%M3.6							
18	InjectionTime2	%MD40							
19	Trig12	%M3.7							
20	BFleshTime2	%MD44							
21	DCTReg1	%M4.0							
22	DCTReg2	%M4.1							
23	DMetrishPsynhs	%M4.2							
24	Trig13	%M4.3							
25	CoolingTime2	%MD48							
26	CylinderHeating2	%M4.4							
27	FullAutomaticOper2	%M4.5							
28	Fault2	%M4.6							

Εικόνα 92: Demag_Tags [28]

6.4.2 Program block και tag table για την IMM Sumitomo Demag

Όπως και στην προηγούμενη υποενότητα έτσι και εδώ αρχικά παρατίθενται οι μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν για το πρόγραμμα παρακολούθησης της IMM Sumitomo Demag με αριθμό 28 στη γραμμή παραγωγής.

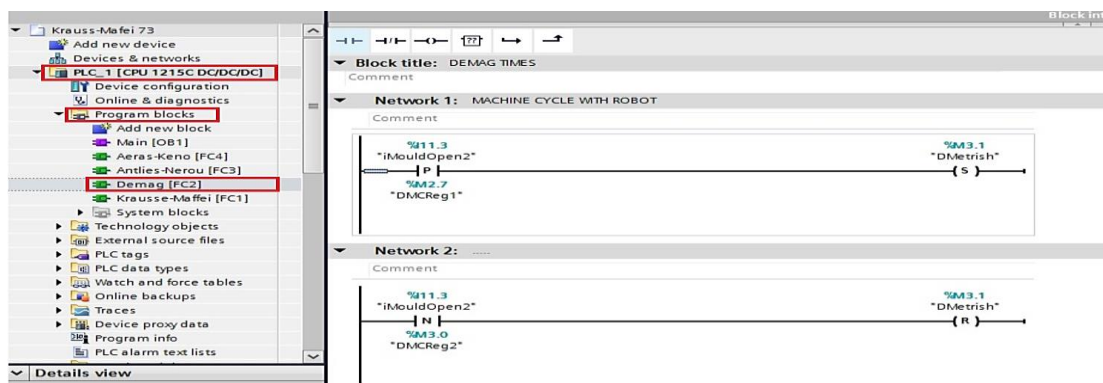
Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν αποθηκεύτηκαν σε ένα ενιαίο tag table με όνομα **Demag_Tags**. Η δημιουργία του tag table **Demag_Tags [28]** παρουσιάζεται στην εικόνα 92 με τα βήματα που ακολουθήθηκαν να είναι όμοια με αυτά της δημιουργίας του tag table **Krauss_Maffei_Tags**. Όπως είναι εμφανές το συγκεκριμένο tag table αποτελείται από 28 tags.

Ο κώδικας που αφορά την παρακολούθηση της μηχανής Sumitomo Demag αποτελεί και σε αυτή την περίπτωση μία συνάρτηση. Η συγκεκριμένη συνάρτηση ονομάζεται **Demag [FC2]** και αποτελεί τη δεύτερη συνάρτηση (FC2-Function2) του συνολικού

προγράμματος παρακολούθησης και ελέγχου που τρέχει στο PLC του συστήματος SCADA.

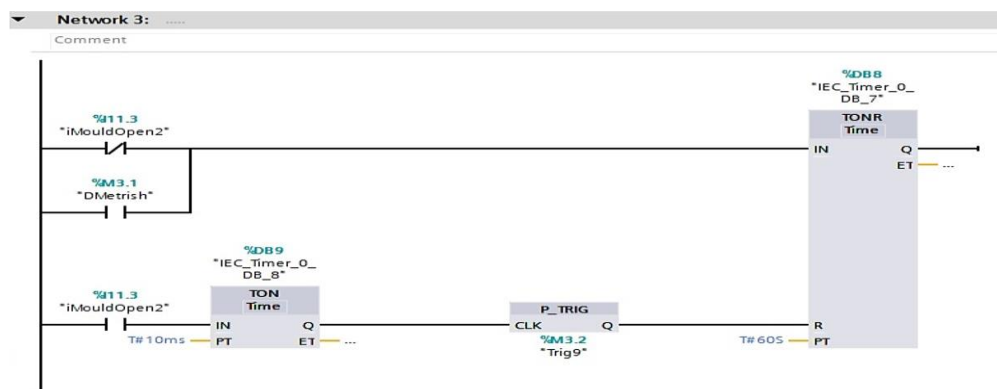
Στην αρχή του κώδικα της συνάρτησης FC2 υπολογίζεται ο χρόνος κύκλου της μηχανής όπου για τον υπολογισμό του συγκεκριμένου χρόνου χρησιμοποιείται το σήμα **iMouldOpen2**.

Έτσι αρχικά όπως παρουσιάζεται στο Network 1 της εικόνας 93 με τη θετική μετάβαση του σήματος **iMouldOpen2** σετάρτετε ένα bit μνήμης με όνομα **Dmetrish**, ενώ όπως είναι εμφανές στο Network 2 η αρνητική μετάβαση του σήματος **iMouldOpen2** προκαλεί επαναφορά του συγκεκριμένου bit (reset). Ουσιαστικά το bit **Dmetrish** παραμένει σεταρισμένο για όσο χρονικό διάστημα το καλούπι παραμένει ανοιχτό προκειμένου η μηχανή να εξυπηρετηθεί από το ρομπότ.



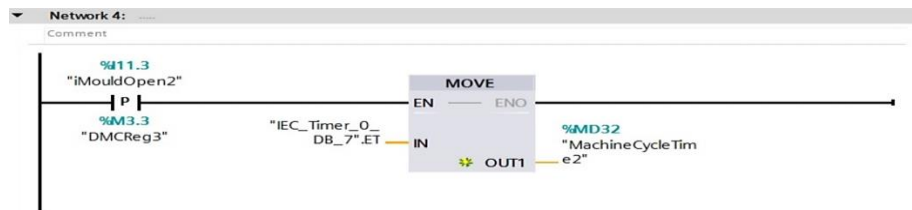
Εικόνα 93: Machine cycle with robot – Network 1 & 2

Στη συνέχεια η μέτρηση του χρόνου κύκλου της μηχανής 28 γίνεται από τον timer **IEC_Timer_0_DB_7**. Ο συγκεκριμένος timer μετρά για όσο χρονικό διάστημα το bit **Dmetrish** είναι σε κατάσταση λογικού 1 ή για όσο χρονικό διάστημα το σήμα **iMouldOpen2** παραμένει ανενεργό. Ουσιαστικά αυτός συνολικά είναι και ο χρόνος του κύκλου της μηχανής, μίας και ακριβώς τη χρονική στιγμή που το bit **Dmetrish** μεταβαίνει σε κατάσταση λογικού 0 εκείνη ακριβώς τη στιγμή το σήμα **iMouldOpen2** απενεργοποιείται και επομένως συνεχίζεται η μέτρηση. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο Network 3.



Εικόνα 94: Machine cycle with robot – Network 3

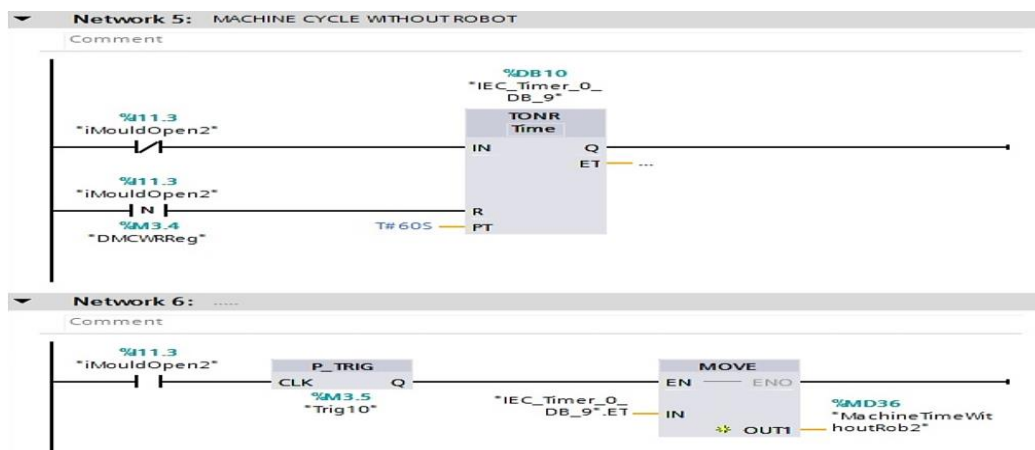
Η αποθήκευση του χρόνου που έχει μετρήσει ο timer **IEC_Timer_0_DB_7** γίνεται με τη θετική ακμή του σήματος **iMouldOpen2** στη μεταβλητή **MachineCycleTime2**. Και σε αυτή την περίπτωση όπως και στον κώδικα για την μηχανή Krauss Maffei χρησιμοποιείται ο timer **IEC_Timer_0_DB_8** ώστε να δημιουργηθεί μια τεχνητή χρονοκαθυστέρηση 10ms προτού γίνει reset στον βασικό timer **IEC_Timer_0_DB_7** και να προλάβει να αποθηκευτεί η τιμή του στην μεταβλητή **MachineCycleTime2**.



Εικόνα 95: Machine cycle with robot – Network 4

Η επόμενη μέτρηση είναι ο υπολογισμός του χρόνου κύκλου χωρίς τον υπολογισμό του χρόνου που το καλούπι της μηχανής παραμένει ανοιχτό.

Όπως και στην αντίστοιχη περίπτωση μέτρησης για τη μηχανή Krauss Maffei έτσι και εδώ το σήμα που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του συγκεκριμένου χρόνου είναι το **iMouldOpen2**. Όταν το συγκεκριμένο σήμα μεταβεί σε κατάσταση λογικού 0 ενεργοποιείται η μέτρηση του timer **IEC_Timer_0_DB_9** ενώ ταυτόχρονα γίνεται reset το περιεχόμενό του για να ξεκινήσει η καινούρια μέτρηση. Η κατάσταση αυτή όπως είναι προφανές υποδηλώνει τη χρονική στιγμή που ξεκινά το κλείσιμο του καλουπιού. Αντίθετα με την ενεργοποίηση του σήματος **iMouldOpen2** η τιμή που έχει υπολογίσει ο timer αποθηκεύεται στη μεταβλητή **MachineTimeWithoutRob2**. Τα παραπάνω απεικονίζονται στην εικόνα 96.

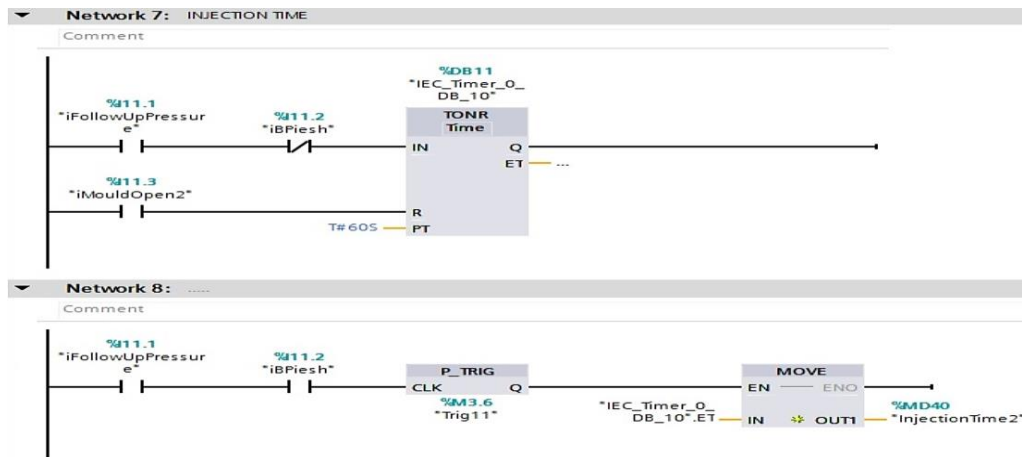


Εικόνα 96: Machine cycle without robot

Συνεχίζοντας για τη μηχανή 28 υπολογίζεται ο **χρόνος έγχυσης**. Η συνθήκη για την ενεργοποίηση του timer **IEC_Timer_0_DB_10** είναι το σήμα **iFollowUpPressure** να είναι ενεργοποιημένο και ταυτόχρονα το σήμα **iBPiesh** να είναι απενεργοποιημένο. Αυτή είναι η απαραίτητη προϋπόθεση σωστής μέτρησης του χρόνου έγχυσης μίας και όπως είχε αναφερθεί στο κεφάλαιο 5 το σήμα **iFollowUpPressure** παραμένει

ενεργοποιημένο το χρονικό διάστημα που διαρκεί η φάση τόσο της έγχυσης όσο και της Β-πίεσης ενώ το σήμα **iBPiesh** ενεργοποιείται ακριβώς το χρονικό διάστημα που διαρκεί η φάση της Β-πίεσης και μετέπειτα απενεργοποιείται. Τα παραπάνω απεικονίζονται στο Network 7 της εικόνας 97.

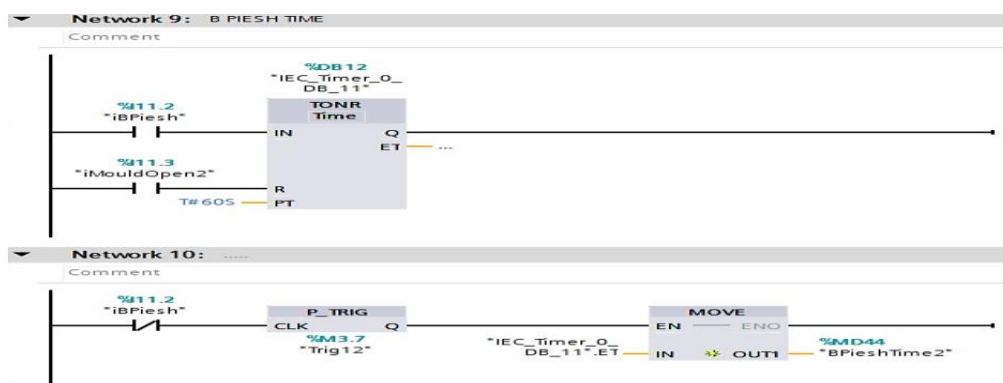
Ακολουθώς, στο Network 8 τη χρονική στιγμή που και τα δύο παραπάνω σήματα εισόδου βρίσκονται σε κατάσταση λογικού 1 δημιουργείται ένας θετικός σκανδαλισμός από το στοιχείο **P_TRIG** και ο μετρούμενος χρόνος έγχυσης αποθηκεύεται στη μεταβλητή **iInjectionTime2**.



Εικόνα 97: Injection time μηχανής 28

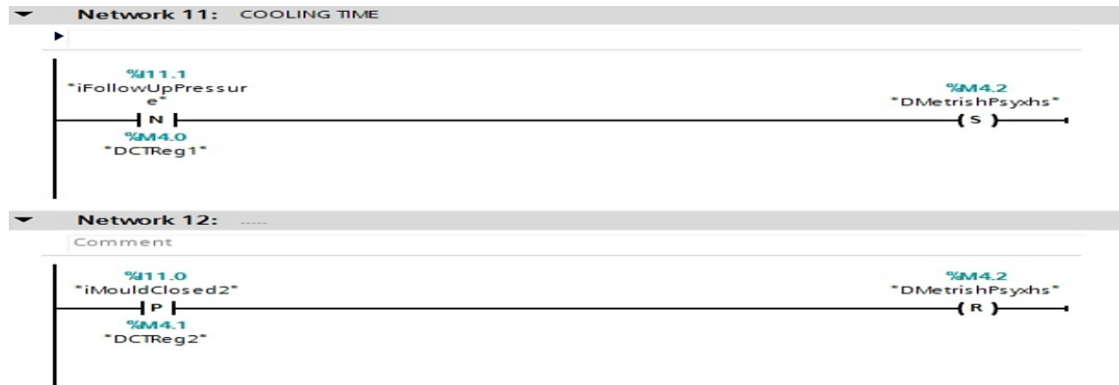
Για τη μέτρηση του χρόνου της Β-πίεσης ο οποίος είναι ο επόμενος χρόνος που υπολογίζεται η διαδικασία είναι πιο απλή μίας και το μόνο σήμα που απαιτείται είναι το σήμα **iBPiesh**.

Έτσι ο timer **IEC_Timer_0_DB_11** που υπολογίζει το χρόνο Β-πίεσης ξεκινά τη μέτρηση του με την ενεργοποίηση του σήματος **iBPiesh** και τερματίζει τη μέτρηση του τη στιγμή απενεργοποίησης του συγκεκριμένου σήματος. Ενώ στην αρνητική μετάβαση του **iBPiesh** η τιμή μέτρησης του timer αποθηκεύεται στη μεταβλητή **BPieshTime2**. Η ενεργοποίηση του σήματος **iMouldOpen2** μηδενίζει τον timer έτσι ώστε να ξεκινήσει την επόμενη μέτρηση. Η εικόνα 98 παρουσιάζει την παραπάνω διαδικασία.



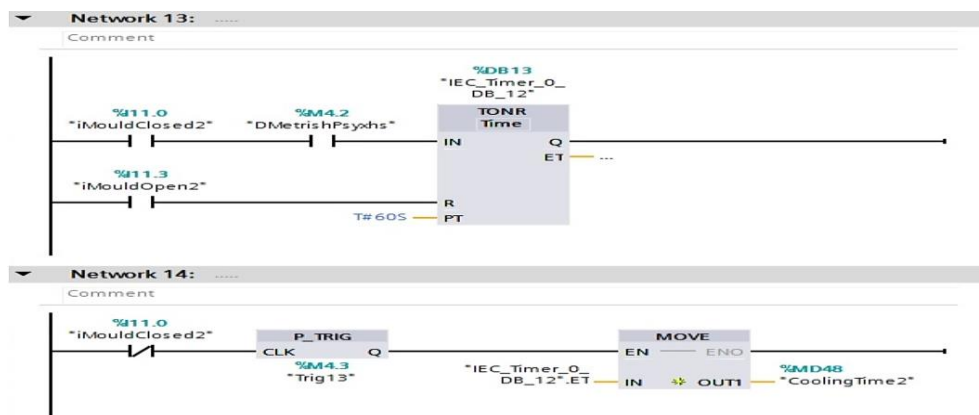
Εικόνα 98: Injection time μηχανής 28

Ο τελευταίος χρόνος που υπολογίζεται για την μηχανή 28 είναι ο **χρόνος ψύξης**. Η αρνητική μετάβαση του σήματος **iFollowUpPressure** ορίζει το τέλος της Β-πίεσης και την αρχή της φάσης της ψύξης. Έτσι όπως παρουσιάζεται στο Network 11 της ακόλουθης εικόνας όταν συμβαίνει αυτό σετάρτετε ένα bit στη μνήμη με όνομα **DMetrishPsyxs** το οποίο υποδηλώνει της αρχή της φάσης ψύξης. Αργότερα με την θετική μετάβαση του σήματος **iMouldClosed2** το συγκεκριμένο bit επαναφέρεται (reset). Η εικόνα 99 παρουσιάζει την παραπάνω διαδικασία.



Εικόνα 99: Cooling time μηχανής 28 – Network 11 & 12

Τώρα η βασική συνθήκη για την ενεργοποίηση της μέτρηση του χρόνου ψύξης από τον μετρητή **IEC_Timer_0_DB_12** είναι τόσο το σήμα **iMouldClosed2** όσο και η μεταβλητή **DMetrishPsyxs** να βρίσκονται σε κατάσταση λογικού 1. Έτσι για όσο χρόνο ισχύει η συγκεκριμένη συνθήκη ο timer θα μετρά τον χρόνο ψύξης. Η υλοποίηση αυτή παρουσιάζεται στο Network 13 της ακόλουθης εικόνας ενώ όπως είναι εμφανές στο Network 14 η αρνητική μετάβαση του σήματος **iMouldClosed2** αποθηκεύει την τιμή που έχει μετρήσει ο timer στη μεταβλητή **CoolingTime2**.

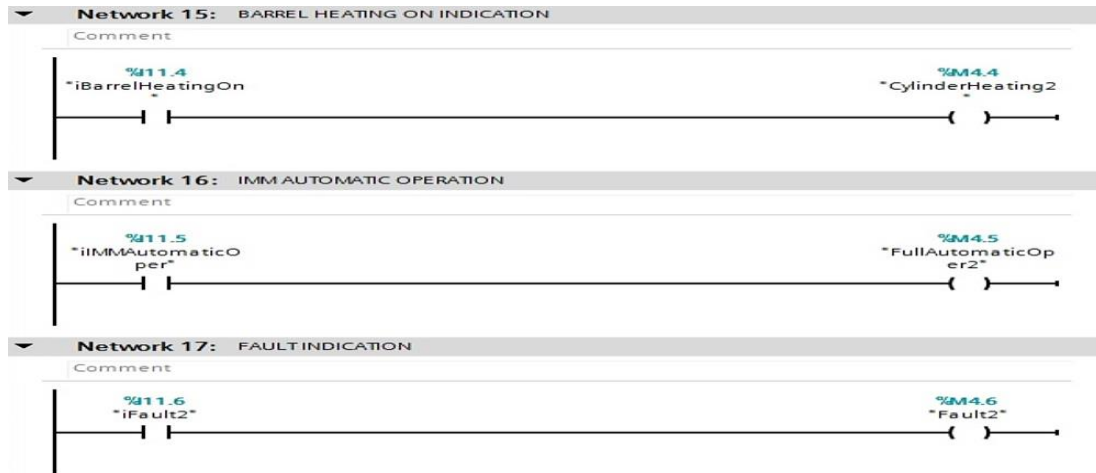


Εικόνα 100: Cooling time μηχανής 28 – Network 13 & 14

Όπως συνέβη με την συνάρτηση FC1 για την IMM 73 αντίστοιχα και εδώ το ακόλουθο κομμάτι κώδικα της FC2 αναφέρεται σε ορισμένες ενδείξεις λειτουργίας που μπορούν να εξαχθούν για την μηχανή 28. Και στην περίπτωση αυτή οι ενδείξεις αυτές έχουν να κάνουν με α) τη λειτουργία των θερμικών στοιχείων της μονάδας

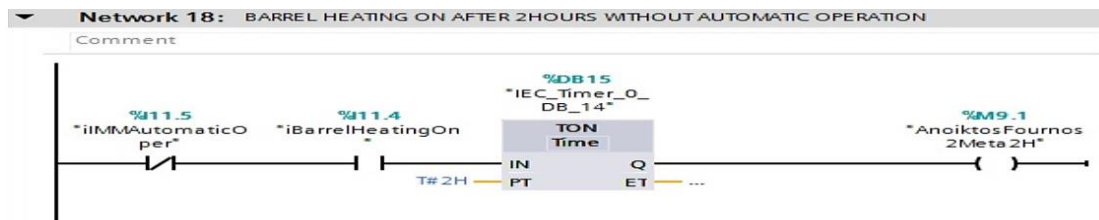
έγχυσης, β) την αυτόματη η μη λειτουργία της μηχανής και τέλος γ) την παρουσία κάποιου σφάλματος κατά τη λειτουργία της IMM.

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται ο κώδικας και οι μεταβλητές αποθήκευσης αυτών των καταστάσεων.



Εικόνα 101: Ενδείξεις λειτουργίας μηχανής 28

Στο τέλος της συνάρτησης FC2 παρουσιάζεται ο κώδικας για τη δημιουργία του αντίστοιχου alarm της μηχανής 28, το οποίο αναφέρεται στη λειτουργία των θερμικών στοιχείων της μονάδας έγχυσης για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 2 ωρών με την αυτόματη λειτουργία της μηχανής να είναι απενεργοποιημένη. Και εδώ η μεταβλητή αποθήκευσης του συγκεκριμένου alarm βρίσκεται στο tag table **Alarm_Tags** που θα παρουσιαστεί συνολικά στο τέλος του κεφαλαίου.



Εικόνα 102: Alarm για την μηχανή 28

6.4.3 Program block και tag table για το σύστημα των αντλιών κυκλοφορίας νερού

Ακολουθώντας την ίδια λογική με τις 2 IMM που ενσωματώθηκαν στο σύστημα SCADA, στην παρούσα υποενότητα παρατίθεται το tag table με τις μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του κώδικα παρακολούθησης και ελέγχου του συστήματος αντλιών κυκλοφορίας νερού στις δύο γραμμές παραγωγής του εργοστασίου.

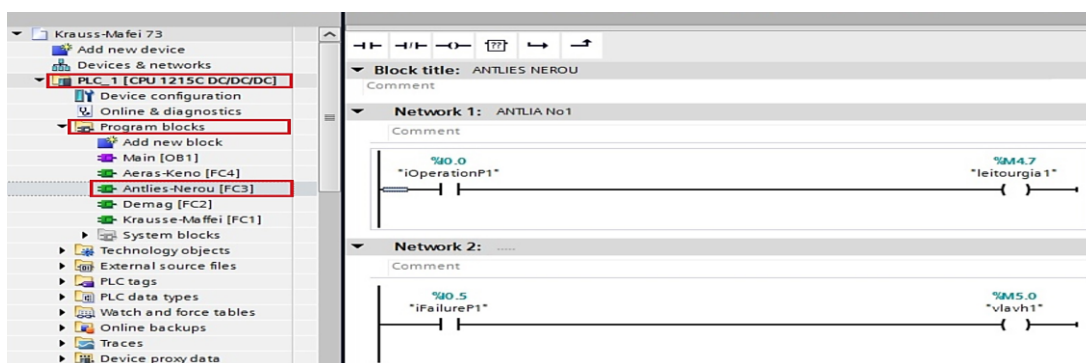
Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται το tag table που ορίστηκε με όνομα **Antlies_Nerou_Tags** το οποίο περιέχει ένα σύνολο 30 μεταβλητών.

Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...
1	iOperationP1	%I0.0				
2	iOperationP2	%I0.1				
3	iOperationP3	%I0.2				
4	iOperationP4	%I0.3				
5	iOperationP5	%I0.4				
6	iFailureP1	%I0.5				
7	iFailhP2	%I0.6				
8	iFailureP3	%I0.7				
9	iFailureP4	%I1.0				
10	iFailureP5	%I1.1				
11	leitourgia1	%M4.7				
12	vlavh1	%M5.0				
13	leitourgia2	%M5.1				
14	vlavh2	%M5.2				
15	leitourgia3	%M5.3				
16	vlavh3	%M5.4				
17	leitourgia4	%M5.5				
18	vlavh4	%M5.6				
19	leitourgia5	%M5.7				
20	vlavh5	%M6.0				
21	Start1	%M6.1				
22	Stop1	%M6.2				
23	Start2	%M6.3				
24	Stop2	%M6.4				
25	eEnableTriP	%Q0.0				
26	eEnableTwP	%Q0.1				
27	iOperationTwP	%I2.2				
28	leitourgiaTriP	%M6.5				
29	iOperationTriP	%I2.3				
30	leitourgiaTriP	%M6.6				

Εικόνα 103: Antlies_Nerou_Tags [30]

Ο σχετικός κώδικας για την παρακολούθηση και των έλεγχο του συστήματος αντλιών είναι μία συνάρτηση η οποία ονομάζεται **Antlies-Nerou [FC3]** και αποτελεί την τρίτη κατά σειρά του συνολικού προγράμματος του συστήματος SCADA.

Ο συγκεκριμένος κώδικας ξεκινά με την αποθήκευση των δύο βασικών καταστάσεων λειτουργίας και σφάλματος της αντλίας Νο 1 του συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται όπως είχε αναφερθεί και στο κεφάλαιο 5 μέσω των ψηφιακών σημάτων εισόδου στο PLC, **iOperationP1** και **iFailureP1**. Όπως είναι εμφανές και στην ακόλουθη εικόνα η κατάσταση των συγκεκριμένων σημάτων αποθηκεύεται σε δύο bit της μνήμης με όνομα **leitourgia1** και **vlavh1** αντίστοιχα. Η κατάσταση αυτών των bit μνήμης παρουσιάζεται αργότερα από την HMI εφαρμογή του συστήματος SCADA με τη μορφή ενδείξεων.

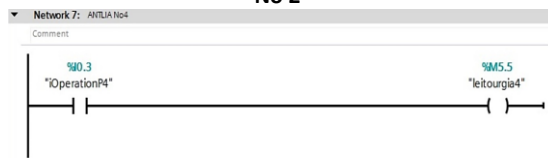


Εικόνα 104: Ενδείξεις λειτουργίας & βλάβης αντλίας Νο 1

Βάση της ίδια λογικής οι εικόνες από 105 έως και 108 παρουσιάζουν τα αντίστοιχα bit μνήμης για τις αντλίες Νο 2, Νο 3, Νο 4 και Νο 5.



Εικόνα 105: Ενδείξεις λειτουργίας & βλάβης αντλίας No 2



Εικόνα 107: Ενδείξεις λειτουργίας & βλάβης αντλίας No 4



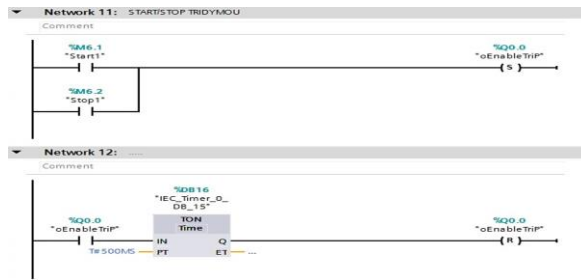
Εικόνα 106: Ενδείξεις λειτουργίας & βλάβης αντλίας No 3



Εικόνα 108: Ενδείξεις λειτουργίας & βλάβης αντλίας No 5

Για τη λειτουργία απομακρυσμένου ελέγχου (ON/OFF) του τρίδυμου συστήματος αντλιών κρίθηκε αναγκαίο το σήμα για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση να είναι παλμικό σήμα. Το συγκεκριμένο σήμα ονομάζεται **oEnableTrip** και είναι σήμα εισόδου στο PLC DVP20SX2 της Delta Electronics στο οποίο τρέχει το πρόγραμμα κυκλικής εναλλαγής των αντλιών του τρίδυμου.

Όπως παρατηρείται στην ακόλουθη εικόνα για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση του τρίδυμου συστήματος συνολικά χρησιμοποιούνται δύο bit μνήμης τα **Start1** και **Stop1**. Η ενεργοποίηση των bit αυτών από την HMI εφαρμογή, που θα μελετηθεί στο επόμενο κεφάλαιο, σετάρει ένα bit εξόδου που όπως αναφέρθηκε ονομάζεται **oEnableTrip** και ενεργοποιεί την 1^η ψηφιακή έξοδο του PLC του συστήματος SCADA. Μέσο του on delay timer **IEC_Timer_0_DB_15** η συγκεκριμένη έξοδο παραμένει ενεργή για 500ms πριν απενεργοποιηθεί και πάλι, δημιουργώντας ουσιαστικά τον επιθυμητό παλμό εισόδου στο PLC DVP20SX2 που εκτελεί την κυκλική εναλλαγή των αντλιών. Επιπλέον για το τρίδυμο σύστημα ένα σήμα που είναι χρήσιμο να παρακολουθείται είναι το σήμα εισόδου **iOperationTriP** το οποίο δηλώνει τη λειτουργία συνολικά του τρίδυμου συστήματος και αποθηκεύεται στο bit μνήμης **leitourgiaTriP**.

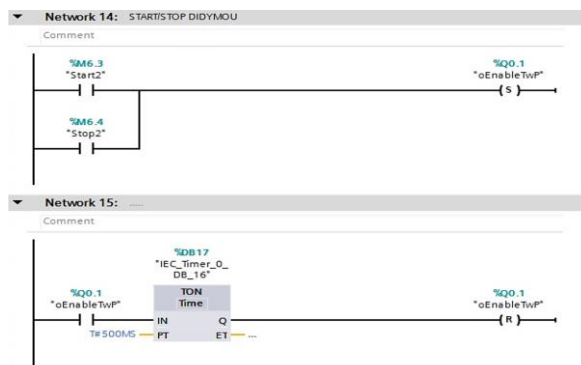


Εικόνα 109: Λειτουργία ON/OFF του τρίδymού συστήματος

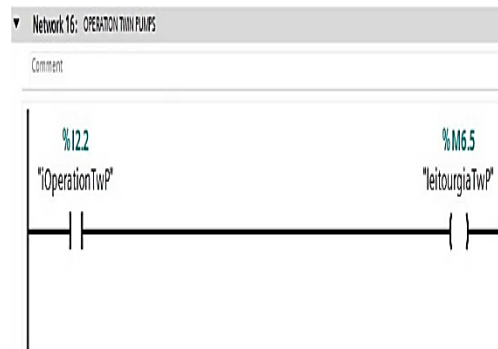


Εικόνα 110: Σήμα λειτουργίας τρίδymου

Η διαδικασία για τον απομακρυσμένο έλεγχο του δίδυμου συστήματος είναι αντίστοιχη με αυτή του τρίδymου και παρουσιάζεται στην εικόνα 111. Επιπλέον και σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται το σήμα **iOperationTwP** σαν σήμα εισόδου ώστε η κατάσταση λειτουργίας συνολικά του δίδυμου συστήματος να αποθηκευτεί στη μεταβλητή **leitourgiaTwP** και να χρησιμοποιηθεί μετέπειτα από την HMI εφαρμογή του συστήματος SCADA.



Εικόνα 111: Λειτουργία ON/OFF του δίδυμου συστήματος



Εικόνα 112: Σήμα λειτουργίας δίδυμου

6.4.4 Program block και tag table για το σύστημα πεπεισμένου αέρα και κενού

Το τελευταίο μέρος του συνολικού προγράμματος που αναπτύχθηκε για το σύστημα SCADA του εργοστασίου αφορά το κεντρικό δίκτυο πεπεισμένου αέρα και κενού, καθώς και τον εξοπλισμό που το υποστηρίζει. Προς αυτή τη κατεύθυνση όπως και με τα προηγούμενα συστήματα που εντάχθηκαν στο SCADA έτσι και εδώ αρχικά παρατίθεται το tag table με τις μεταβλητές που δημιουργήθηκαν για την ανάπτυξη του κώδικα παρακολούθησης και ελέγχου του συγκεκριμένου συστήματος. Στην εικόνα 113 απεικονίζεται το εν λόγω tag table.

Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...
1	iAirPressure	UInt	%IW96			
2	Tag1	Real	%MD52			
3	PieshAera	Real	%MD56			
4	Tag2	Real	%MD60			
5	PieshKenou	Real	%MD64			
6	iOperationS60-2	Bool	%I1.2			
7	iFailureS60-2	Bool	%I1.3			
8	StartS60-2	Bool	%M7.5			
9	StopS60-2	Bool	%M7.6			
10	oEnableS60-2	Bool	%Q0.2			
11	iOperationSF60-2	Bool	%I1.4			
12	iFailureSF60-2	Bool	%I1.5			
13	leitourgiaSF60-2	Bool	%M7.7			
14	vlavhsF60-2	Bool	%M8.0			
15	leitourgiaS29-2	Bool	%M8.1			
16	vlavhs29-2	Bool	%M8.2			
17	oEnableS29-2	Bool	%Q0.3			
18	iVacuumPressure	UInt	%IW98			
19	LowLimitAirPressure	Real	%MD68			
20	HighLimitAirPressure	Real	%MD72			
21	LowLimitVacummPressure	Real	%MD76			
22	HighLimitVacummPressure	Real	%MD80			
23	leitourgiaS60-2	Bool	%M7.3			
24	vlavhs60-2	Bool	%M7.4			
25	iOperationS29-2	Bool	%I2.0			
26	iFailureS29-2	Bool	%I2.1			
27	StartS29-2	Bool	%M8.3			
28	StopS29-2	Bool	%M8.4			

Εικόνα 113: Aeras_Keno_Tags [28]

Επιπλέον στην συγκεκριμένη υποενότητα παρουσιάζεται και το tag table που περιέχει τις μεταβλητές που έχουν δημιουργηθεί για την αποθήκευση των καταστάσεων alarm του συστήματος SCADA. Οι συγκεκριμένες μεταβλητές είναι έξι στον αριθμό και δύο από αυτές έχουν ήδη αναφερθεί στις υποενότητες 6.4.1 και 6.4.2 και αφορούν τη λειτουργία των θερμικών στοιχείων της μονάδας έγχυσης για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 2 ωρών με τις μηχανές να μην βρίσκονται σε αυτόματη λειτουργία. Όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα το όνομα του συγκεκριμένου tag table είναι **Alarm_Tags** και οι μεταβλητές του αποθηκεύονται στο byte 9 της μνήμης.

Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...
1	Alarms	Byte	%MB9			
2	AnoiktosFournos1Meta2H	Bool	%M9.0			
3	AnoiktosFournos2Meta2H	Bool	%M9.1			
4	YpshlhPieshAera	Bool	%M9.2			
5	XamhhlPieshAera	Bool	%M9.3			
6	XamhhlPieshKenou	Bool	%M9.4			
7	YpshlhPieshKenou	Bool	%M9.5			
8	<Add new>					

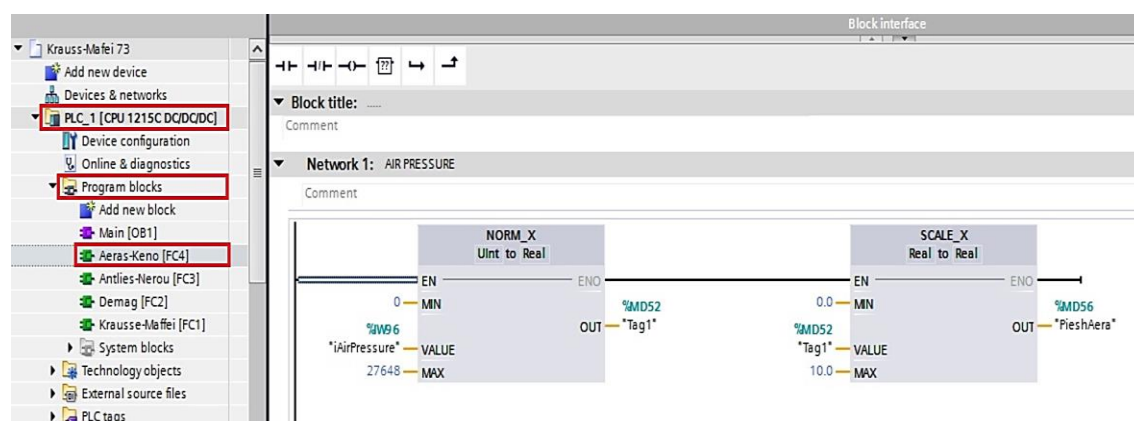
Εικόνα 114: Alarm_Tags [7]

Ο κώδικας για την παρακολούθηση και των έλεγχο του κεντρικού συστήματος παροχής πεπιεσμένου αέρα και κενού εμπεριέχεται στην 4^η κατά σειρά συνάρτηση του συνολικού προγράμματος που αναπτύχθηκε και ονομάζεται **Aeras-Keno [FC4]**.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί η τιμή που επιστρέφει ο αισθητήρας πίεσης είναι ένα σήμα ρεύματος που κυμαίνεται μεταξύ 4 – 20mA. Όταν το σήμα αυτό εισέρχεται στο AI module τότε ο ADC (Analog to Digital Converter) μετατρέπει τη τιμή αυτή σε μία

ακέραια τιμή η οποία κυμαίνεται μεταξύ 0 – 27648. Με την τιμή 4mA να αντιστοιχεί στην ακέραια τιμή 0 και την τιμή 20mA να αντιστοιχεί στον ακέραιο 27648. Για την αντιστοίχιση αυτής της τιμής εισόδου σε μία τιμή πίεσης από 0 μέχρι 10 bar που είναι το εύρος μέτρησης του αισθητήρα και που θα απεικονίζεται στην HMI εφαρμογή του συστήματος SCADA αναπτύχθηκε το κομμάτι κώδικα που εμφανίζεται στο Network 1 της ακόλουθης εικόνας.

Αρχικά μέσω της συνάρτησης **NORM_X** η τιμή εισόδου **iAirPressure** η οποία είναι αποθηκευμένη στο **IW96** και το εύρος της κυμαίνεται μεταξύ 0 και 27648 κανονικοποιείται και μετατρέπεται στην έξοδο της συνάρτησης με μία τιμή κινητής υποδιαστολής (real value – 32bits) η οποία κυμαίνεται από 0.0 μέχρι 1.0 και αποθηκεύεται σαν double word μεταβλητή με όνομα **Tag1** στη θέση μνήμης **MD52**. Στη συνέχεια η μεταβλητή **Tag1** εφαρμόζεται σαν είσοδο στη συνάρτηση **SCALE_X** η οποία αντιστοιχίζει την τιμή αυτής σε ένα καθορισμένο εύρος τιμών στην έξοδο με ελάχιστο την τιμή **0.0** και μέγιστο την τιμή **10.0**. Έτσι η συνάρτηση **SCALE_X** παράγει την επιθυμητή τιμή εξόδου η οποία αποθηκεύεται σαν τιμή double word (32bits) στη μεταβλητή με όνομα **PieshAera** και αναπαριστά την τρέχουσα τιμή της πίεσης στο δίκτυο.

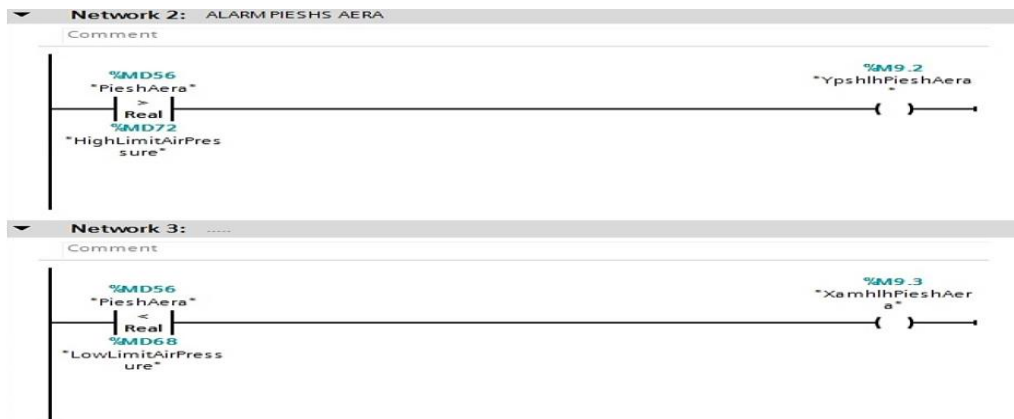


Εικόνα 115: Αναπαράσταση της τιμής πίεσης του κεντρικού δικτύου αέρα

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η δημιουργία των σημάτων που καθορίζουν καταστάσεις alarm για την πίεση του δικτύου αέρα. Για το σκοπό αυτό δημιουργήθηκαν δύο διακριτές καταστάσεις, η πρώτη αφορά την υπέρβαση του επιτρεπτού εύρους τιμών και η δεύτερη την παρουσία τιμών κάτω από το επιτρεπτό όριο.

Έτσι αρχικά στο Network 2 η τιμή της μεταβλητής **PieshAera** συγκρίνεται με την τιμή της μεταβλητής **HighLimitPressure** η οποία είναι μία παράμετρο που καθορίζεται από τον χειριστή του συστήματος SCADA μέσω της HMI εφαρμογής ανάλογα με τις ανάγκες της παραγωγής. Η σύγκριση αυτών των δύο πραγματικών μεταβλητών επιτυγχάνεται μέσω ενός συγκριτή και αναλόγως του αν ισχύει η συνθήκη η όχι το αποτέλεσμα της σύγκρισης αποθηκεύεται στην μεταβλητή με όνομα **YpshlhPieshAera** δημιουργώντας το αντίστοιχο μήνυμα έκτακτης κατάστασης.

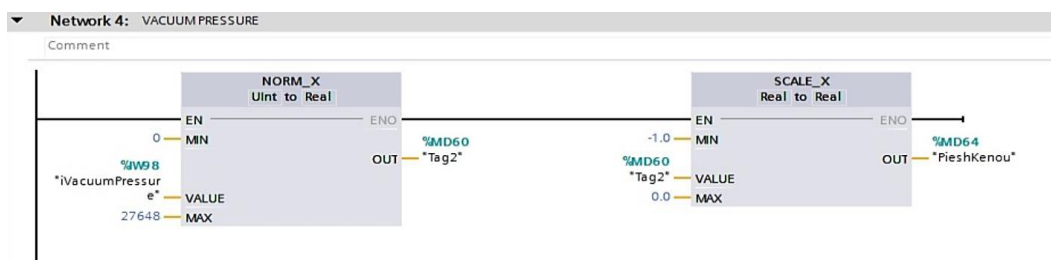
Αντίστοιχη είναι η διαδικασία που εμφανίζεται στο Network 3 με την διαφορά ότι τώρα η τιμή της μεταβλητής **PieshAera** συγκρίνεται με την παράμετρο **LowLimitPressure** που υποδηλώνει το κάτω επιτρεπτό όριο και το αποτέλεσμα της σύγκρισης αποθηκεύεται στην μεταβλητή **XamhhlhPieshAera**.



Εικόνα 116: Καταστάσεις alarm για το κεντρικό δίκτυο πεπιεσμένου αέρα

Η διαδικασία για τη μέτρηση και αναπαράσταση της τιμής του κενού είναι όμοια με αυτή του αισθητήρα για τη μέτρηση της πίεσης του δικτύου αέρα. Η μόνη διαφορά έγκειται στο ότι τώρα το εύρος της μετρούμενης τιμής του αισθητήρα είναι τα -1 με 0 bar.

Και στην περίπτωση αυτή η τιμή της μεταβλητής εισόδου **iVacuumPressure** που είναι αποθηκευμένη στο **IW98** κανονικοποιείται αρχικά μέσω της συνάρτησης **NORM_X** από το εύρος των ακεραίων 0 έως 27648 στην είσοδο στο εύρος των πραγματικών αριθμών 0.0 έως 1.0 στην έξοδο της συνάρτησης. Στη συνέχεια μέσω της **SCALE_X** η μεταβλητή **Tag2** που είναι το αποτέλεσμα της κανονικοποίησης αντιστοιχίζεται στο εύρος τιμών 0.0 με -1.0 και η επιθυμητή τιμή εξόδου της συνάρτησης αποθηκεύεται στην μεταβλητή **PieshKenou**. Η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται στην εικόνα 117.



Εικόνα 117: Αναπαράσταση της τιμής κενού

Ο κώδικας για τη δημιουργία των καταστάσεων alarm για την τιμή του κενού είναι αντίστοιχος με αυτόν που περιγράφηκε προηγούμενος για τα alarm της πίεσης αέρα. Με τη διαφορά ότι τώρα η παράμετρος **HighLimitVacummPressure** υποδηλώνει το όριο πάνω από το οποίο η τιμή του κενού προσεγγίζει το 0, δηλαδή είναι χαμηλή. Ενώ αντίστοιχα η παράμετρος **LowLimitVacummPressure** υποδηλώνει το όριο κάτω από το οποίο η τιμή του κενού προσεγγίζει το -1 δηλαδή είναι υψηλή. Και οι

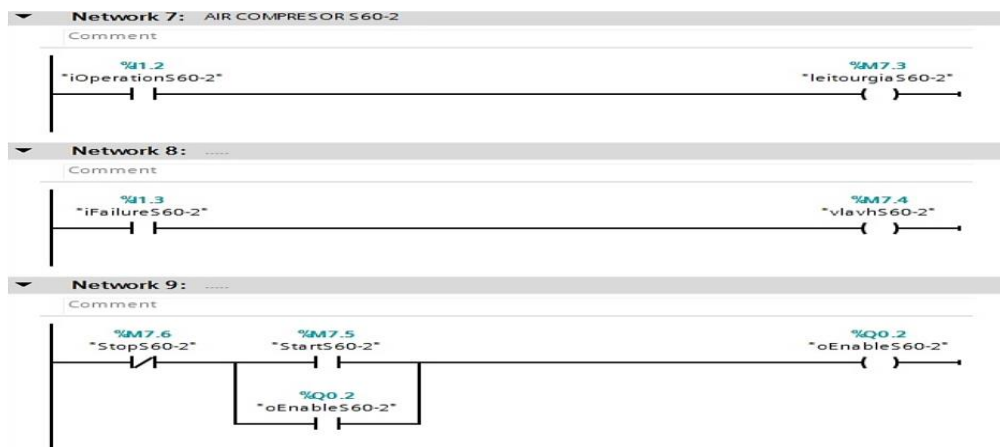
δύο παράμετροι **HighLimitVacummPressure** και **LowLimitVacummPressure** καθορίζονται από τον χειριστή του SCADA μέσω της εφαρμογής HMI. Η εικόνα 118 παρουσιάζει τα παραπάνω.



Εικόνα 118: Καταστάσεις alarm για την τιμή του κενού κεντρικό δίκτυο δημιουργίας κενού

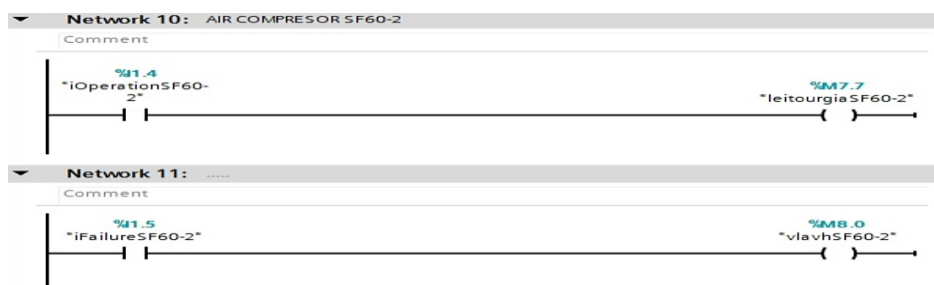
Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 4 το κεντρικό δίκτυο πεπιεσμένου αέρα υποστηρίζεται από 3 αεροσυμπιεστές της εταιρίας BOGE. Και για τους 3 αεροσυμπιεστές κρίθηκε απαραίτητο το σύστημα SCADA να απεικονίζει καταστάσεις λειτουργίας και παρουσία σφάλματος, ενώ για τους δύο εξ αυτών και συγκεκριμένα τον S60-2 και τον S29-2 να δίνεται η δυνατότητα απομακρυσμένου χειρισμού ON/OFF.

Για το σκοπό αυτό για τον αεροσυμπιεστή S60-2 στα Network 7 & 8 οι καταστάσεις των ψηφιακών σημάτων εισόδου **iOperationS60-2** και **iFailureS60-2** αποθηκεύονται στις μεταβλητές **leitourgiaS60-2** και **vlavhS60-2** και υποδηλώνουν αντίστοιχα την κατάσταση κανονικής λειτουργίας του αεροσυμπιεστή και την πιθανή παρουσία σφάλματος αντίστοιχα. Επίσης στο Network 9 παρουσιάζεται ο κώδικας για την απομακρυσμένη λειτουργία η οποία επιτυγχάνεται μέσω των μεταβλητών **StartS60-2** και **StopS60-2**. Οι συγκεκριμένες μεταβλητές αποτελούν 2 bit μνήμης αντίστοιχα η κατάσταση των οποίων μεταβάλλεται μέσω της HMI εφαρμογής από τον χειριστή του συστήματος SCADA.



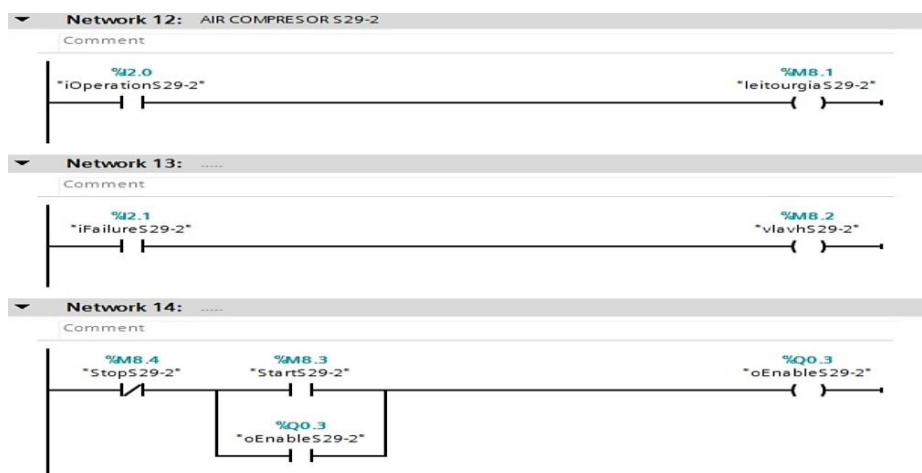
Εικόνα 119: Καταστάσεις λειτουργίας και απομακρυσμένος έλεγχος αεροσυμπιεστή S60-2

Για τον δεύτερο αεροσυμπιεστή του συστήματος χρησιμοποιούνται και σε αυτή την περίπτωση τα σήματα εισόδου στο PLC **iOperationSF60-2** και **iFailureSF60-2** ενώ οι καταστάσεις λειτουργίας και σφάλματος αποθηκεύονται στις μεταβλητές **leitourgiaSF60-2** και **vlavhSF60-2**.



Εικόνα 120: Καταστάσεις λειτουργίας και σφάλματος για τον αεροσυμπιεστή SF60-2

Τέλος για τον αεροσυμπιεστή S29-2 ακολουθείται η ίδια διαδικασία με αυτή που αναπτύχθηκε και για τον S60-2. Στην περίπτωση αυτή οι καταστάσεις των σημάτων εισόδου στο PLC **iOperationS29-2** και **iFailureS29-2** αποθηκεύονται στις μεταβλητές **leitourgiaS29-2** και **vlavhS29-2**. Ενώ ο απομακρυσμένος έλεγχος του συγκεκριμένου αεροσυμπιεστή επιτυγχάνεται μέσω των μεταβλητών **StartS29-2** και **StopS29-2** από την HMI εφαρμογή του συστήματος SCADA. Η εικόνα 121 απεικονίζει τα παραπάνω.

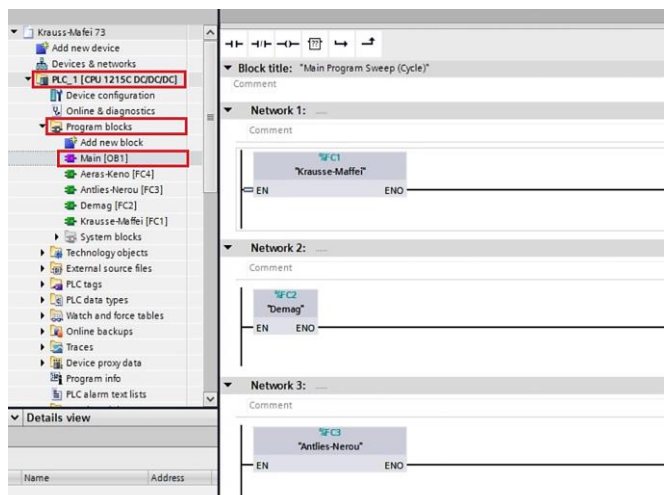


Εικόνα 121: Καταστάσεις λειτουργίας και απομακρυσμένος έλεγχος αεροσυμπιεστή S29-2

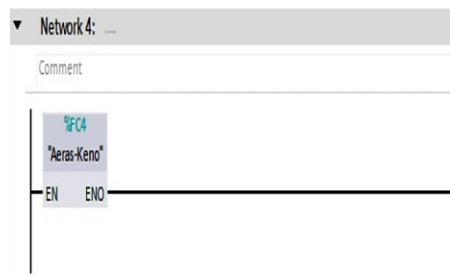
6.5 Η συνάρτηση main του προγράμματος

Το block κώδικα που εκτελείται πρώτο σε οποιοδήποτε πρόγραμμα τρέχει σε ένα PLC είναι το Organization Block 1 – OB1 που αποτελεί ουσιαστικά τη συνάρτηση main η οποία είναι η κύρια συνάρτηση του προγράμματος. Η συγκεκριμένη συνάρτηση εκτελείται κυκλικά στην αρχή κάθε scan cycle και είναι το block κώδικα που εκτελείται πρώτο και οποιοδήποτε άλλο block κώδικα. Τα υπόλοιπα blocks εκτελούνται κατά αύξουσα σειρά προτεραιότητας όπως δηλώνει ο αντίστοιχος αριθμός τους. Στην περίπτωση του προγράμματος που αναπτύχθηκε για την

παρακολούθηση και τον έλεγχο διεργασιών του εργοστασίου μέσω του συστήματος SCADA οι συναρτήσεις **FC1**, **FC2**, **FC3** και **FC4** για να μπορέσουν να εκτελεστούν εμπεριέχονται στη συνάρτηση **Main (OB1)** όπως παρουσιάζεται στις ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 122: Τρείς από τις τέσσερις συνολικά συναρτήσεις του **OB1 – Main**



Εικόνα 123: Η τελευταία συνάρτηση **FC4** του **OB1 – Main**

Στο σημείο αυτό μέσω της σουίτας TIA Portal V14 έχει ολοκληρωθεί πλέον η διαμόρφωση τόσο του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του συστήματος SCADA όσο και του δικτύου Profinet που στήθηκε για την επικοινωνία των επιμέρους συσκευών. Επιπλέον έχει ολοκληρωθεί και η ανάπτυξη του σχετικού κώδικα όπως παρουσιάστηκε στην υποενότητα 6.4 μέσω του οποίου επιτυγχάνεται η παρακολούθηση και ο έλεγχος των διεργασιών του εργοστασίου που αναφέρθηκαν στη αρχή του κεφαλαίου. Έτσι λοιπόν στο επόμενο κεφάλαιο θα ακολουθήσει η ανάπτυξη της HMI εφαρμογής του συστήματος SCADA προκειμένου να παρέχεται στο εκάστοτε χρήστη μία ολοκληρωμένη πλατφόρμα για την οπτικοποίηση και την αλληλεπίδραση με τις διεργασίες του εργοστασίου που εντάχθηκαν στο σύστημα.

Κεφάλαιο 7 - Ανάπτυξη HMI εφαρμογής

Το κεφάλαιο 7 αναφέρεται στη δημιουργία της HMI εφαρμογής του συστήματος SCADA με τη βοήθεια του περιβάλλοντος Simatic WinCC v7.4 της Siemens. Μέσω της εφαρμογής που δημιουργήθηκε δίνεται η δυνατότητα στον χειριστή του συστήματος να παρακολουθεί να και να ελέγχει κύριες διεργασίες του εργοστασίου. Αρχικά στη υποενότητα 7.1 γίνεται μία σύντομη αναφορά στον τρόπο λειτουργίας του λογισμικού WinCC και παρουσιάζονται οι κύριες δυνατότητες του. Στη συνέχεια στην υποενότητα 7.2 παρατίθενται ο τρόπος δημιουργίας της εφαρμογής καθώς και τα αρχικά βήματα παραμετροποίηση του H/Y που έχει το ρόλο του SCADA server. Ακολούθως στην υποενότητα 7.3 αρχικά γίνεται η εγκατάσταση των driver επικοινωνίας του H/Y server και του κεντρικού PLC του συστήματος βάση των οποίων επιτυγχάνεται η ορθή επικοινωνία των συσκευών αυτών. Ενώ επίσης στη συνέχεια της παρούσας υποενότητας ορίζονται οι μεταβλητές (tags) της εφαρμογής μέσω των οποίων μεταφέρονται οι τιμές που παρακολουθούνται και ελέγχονται από το σύστημα SCADA. Το κεφάλαιο κλείνει με την αναλυτική παρουσίαση του τρόπου δημιουργίας των εικόνων της εφαρμογής, οι οποίες αποτελούν το οπτικό περιβάλλον διαχείρισης του συστήματος SCADA, καθώς και την ανάλυση των διαδικασιών Tag Logging και Alarm Logging οι οποίες ολοκληρώνουν τις δυνατότητες του συστήματος SCADA.

7.1 Περιβάλλον Simatic Win CC

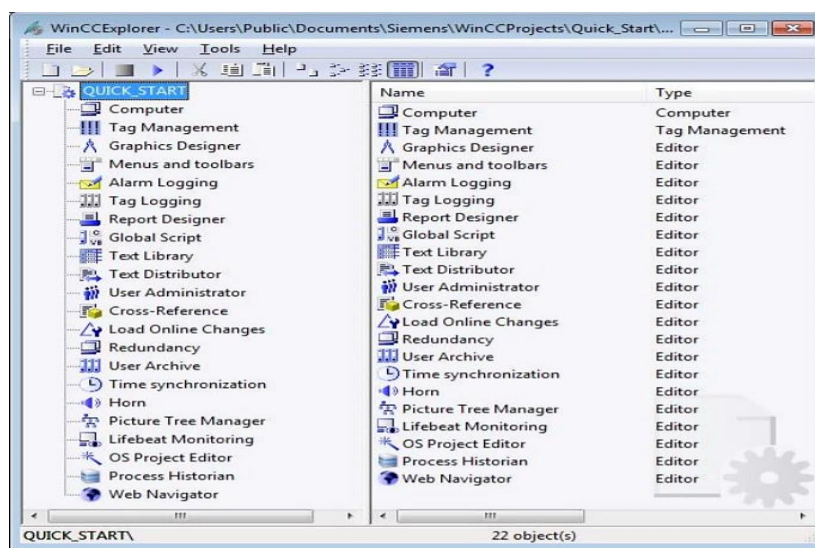
Για την ολοκλήρωση του συστήματος παρακολούθησης και ελέγχου της βιομηχανικής μονάδας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ανάπτυξης συστημάτων SCADA και HMI εφαρμογών **WinCC v7.4**. Το συγκεκριμένο λογισμικό έχει αναπτυχθεί από την εταιρία Siemens και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με του ελεγκτές της εταιρίας ενώ υποστηρίζεται από λειτουργικά συστήματα Microsoft Windows. Επιπλέον χρησιμοποιεί τον Microsoft SQL Server για την καταγραφή και διαχείριση ιστορικού δεδομένων που συλλέγονται από το σύστημα.

Συνοπτικά οι κυρίες δυνατότητες που προσφέρει το WinCC είναι οι ακόλουθες:

1. Αξιόπιστη και ταχεία μεταφορά δεδομένων και μεταβλητών από το διασυνδεδεμένο PLC στο σύστημα SCADA.
2. Εύχρηστο και αποτελεσματικό περιβάλλον για την οπτικοποίηση και την αναπαράσταση συστημάτων, μέσα από προκαθορισμένα γραφικά αντικείμενα αλλά και γραφικά αντικείμενα ορισμένα από των εκάστοτε χρήστη.
3. Υψηλής απόδοσης αρχειοθέτηση δεδομένων σε αρχεία τιμών (process value archives) μέσω ολοκληρωμένων βάσεων δεδομένων SQL.
4. Αποτελεσματική ανάλυση των τιμών που λαμβάνουν οι μεταβλητές του συστήματος μέσα από γραφικές παραστάσεις και απεικονίσεις άλλου τύπου (ιστόγραμμα, ραβδόγραμμα κ.α.).

5. Αποτελεσματική ανάλυση μηνυμάτων προειδοποίησης (warning messages) η μηνυμάτων εκτάκτων καταστάσεων (alarm messages) η προβολή των οποίων προσαρμόζεται ακριβώς στις απαιτήσεις του χειριστή.
6. Ενσωματωμένο διαγνωστικό περιβάλλον με σκοπό την παρακολούθηση της κατάστασης λειτουργίας όλων των ελεγκτών της σειράς S7.

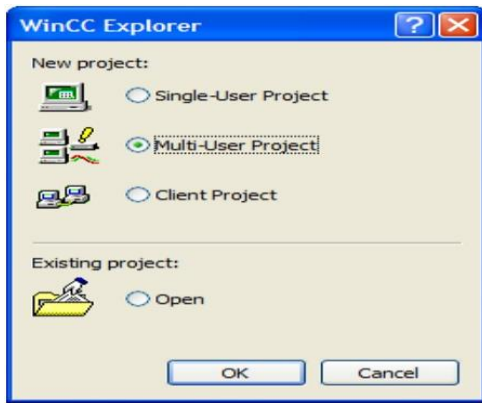
Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται η αρχική εικόνα του περιβάλλοντος της πλατφόρμας WinCC v7.4 για ένα project με όνομα QUICK_START. Στην αριστερή πλευρά φαίνεται ολόκληρη η δομή του project με τους αντίστοιχους editors αρκετοί εκ των οποίων θα χρησιμοποιηθούν για τη ανάπτυξη της εφαρμογής παρακολούθησης και τον έλεγχο των διεργασιών του εργοστασίου «Kotronis Plastics SA» που αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια.



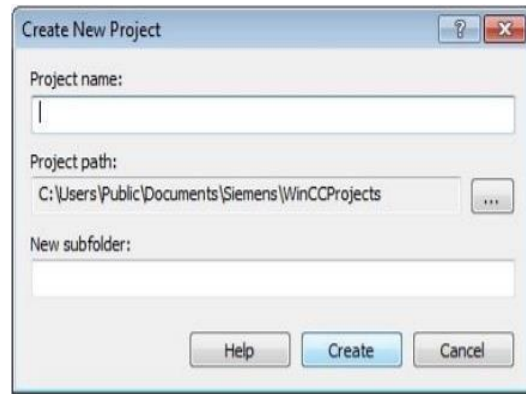
Εικόνα 124: Το τμήμα πλοήγησης (navigation window) λογισμικού SIMATIC WinCC

7.2 Δημιουργία εφαρμογής και διαμόρφωση του SCADA server H/Y

Το πρώτο βήμα για τη δημιουργία της εφαρμογής (project) που αναπτύχθηκε είναι ο ορισμός του τύπου του συγκεκριμένου project. Όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα η επιλογή που έγινε ήταν το **Multi-User Project**. Η επιλογή αυτή είχε ως κριτήριο ο υπολογιστής στον οποίο δημιουργήθηκε η εφαρμογή να έχει το ρόλο του server και του βασικού εποπτικού σταθμού, δίνοντας όμως τη δυνατότητα και σε άλλους υπολογιστές να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα και στο εποπτικό σύστημα ανάλογα με τα δικαιώματα που θα εκχωρήσει ο υπολογιστής server. Στη συνέχεια ακολούθησε το όνομα που δόθηκε στο συγκεκριμένο project το οποίο ήταν το όνομα **SCADA** μέσα από το ακόλουθο παράθυρο.

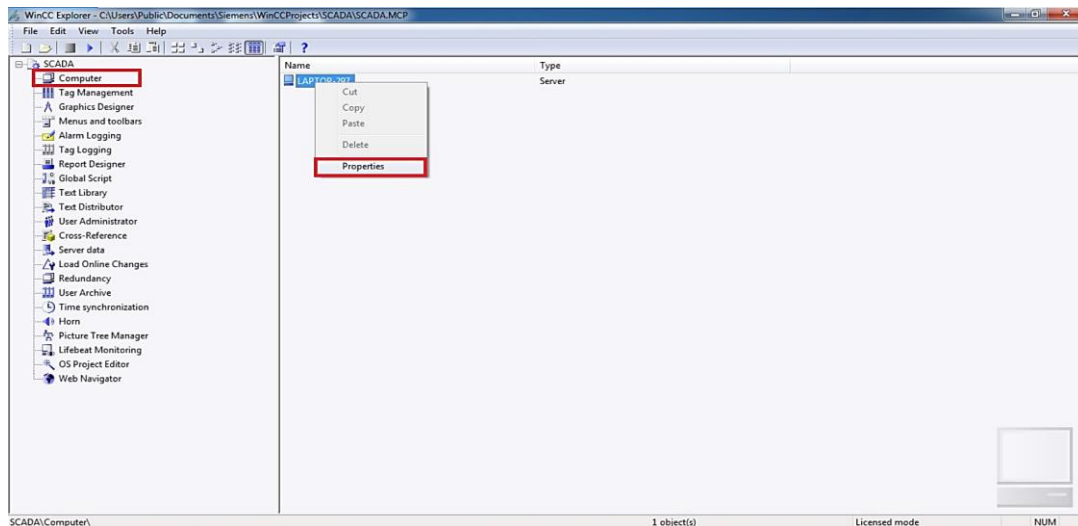


Εικόνα 125: Επιλογή τύπου project



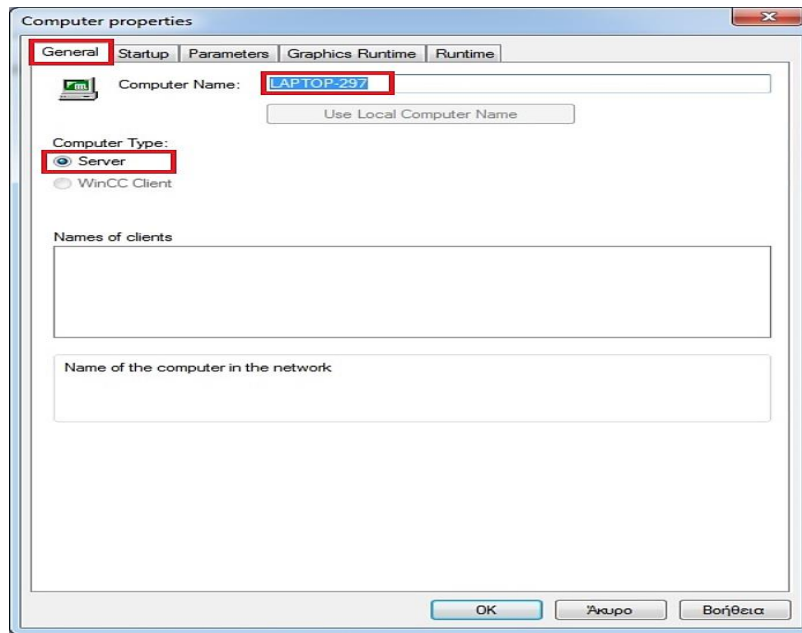
Εικόνα 126: Επιλογή του ονόματος του project

Το επόμενο βήμα είναι ο καθορισμός των ιδιοτήτων του υπολογιστή στον οποίο θα είναι ενεργή η εφαρμογή που σχεδιάστηκε όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 127: Καθορισμός ιδιοτήτων του Η/Υ SCADA server

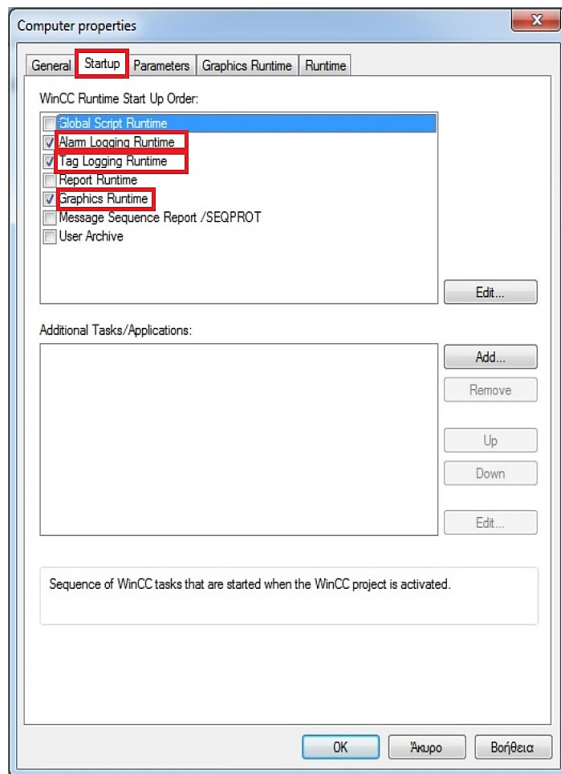
Η επιλογή **Properties** της προηγούμενης εικόνας οδηγεί στο ακόλουθο μενού, όπου στην καρτέλα **General** ρυθμίζεται το όνομα του υπολογιστή στον οποίο τρέχει η εφαρμογή, όπου στην περίπτωση μας ήταν ένα εταιρικός υπολογιστής με όνομα **LAPTOP-297**. Επίσης σε αυτή την καρτέλα ορίζεται και ο τύπος του συγκεκριμένου υπολογιστή οποίος είχε το ρόλο του **Server**.



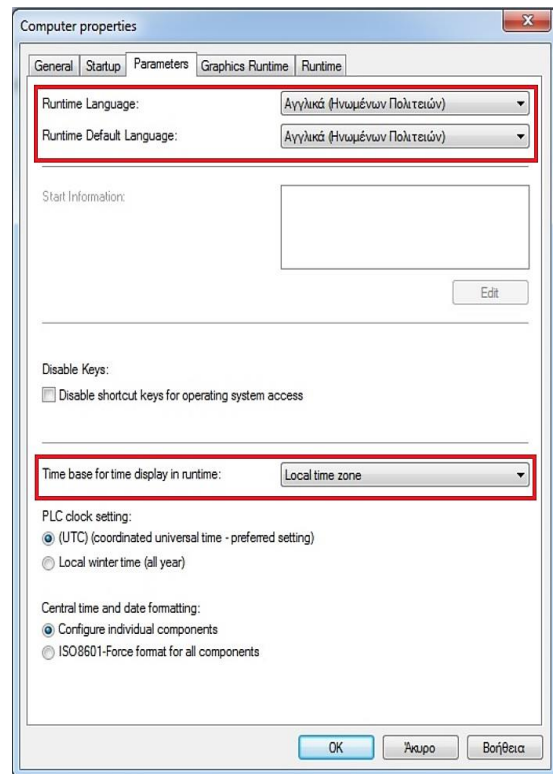
Εικόνα 128: Διαμόρφωση Η/Υ του συστήματος SCADA

Επιλέγοντας την καρτέλα **Startup** δίνεται η δυνατότητα ορισμού των βοηθητικών προγραμμάτων που εκκινούν στο παρασκήνιο μαζί με την εφαρμογή που αναπτύχθηκε υποβοηθώντας τον εποπτικό ρόλο του συστήματος SCADA. Για τις ανάγκες που project που δημιουργήθηκε πέραν της βασικής επιλογής **Graphics Runtime** επιλέχθηκαν ακόμη τα βοηθητικά προγράμματα **Tag Logging Runtime** και **Alarm Logging Runtime** τα οποία επιτρέπουν την καταγραφή σε αρχεία κύριων μεταβλητών του συστήματος και την προβολή και ανάλυση μηνυμάτων εκτάκτων καταστάσεων (alarms) αντίστοιχα.

Στη συνέχεια μέσω της καρτέλα **Parameters** καθορίζεται η γλώσσα στην οποία θα προβάλλεται η δημιουργηθείσα εφαρμογή η οποία είναι η **Αγγλική** καθώς επίσης και η ζώνη ώρας που ακολουθείται από την εφαρμογή μας η οποία είναι ίδια με αυτή που έχει οριστεί στο υπολογιστικό σύστημα στο οποίο τρέχει η συγκεκριμένη εφαρμογή.



Εικόνα 129: Επιλογή προγραμμάτων εκκίνησης κατά τη διαδικασία Runtime

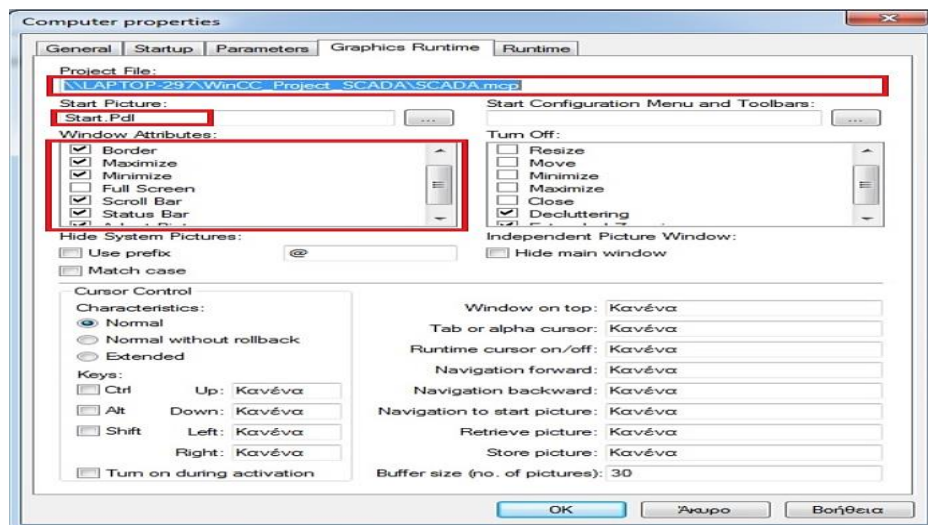


Εικόνα 130: Ρύθμιση γλώσσας και ώρας της εφαρμογής

Τέλος στην καρτέλα **Graphics Runtime** ρυθμίζονται διάφορες παράμετροι οι οποίες σχετίζονται με τα εξής:

- Με το path στο οποίο είναι αποθηκευμένη η εφαρμογή που αναπτύχθηκε.
- Με τον καθορισμό της εικόνας εκκίνησης της εφαρμογής.
- Με τις παραμέτρους οι οποίες σχετίζονται με την εμφάνιση των εικόνων εργασίας στην οθόνη του υπολογιστή που τρέχει η εν λόγω εφαρμογή.

Τα παραπάνω παρουσιάζονται στην εικόνα 131.

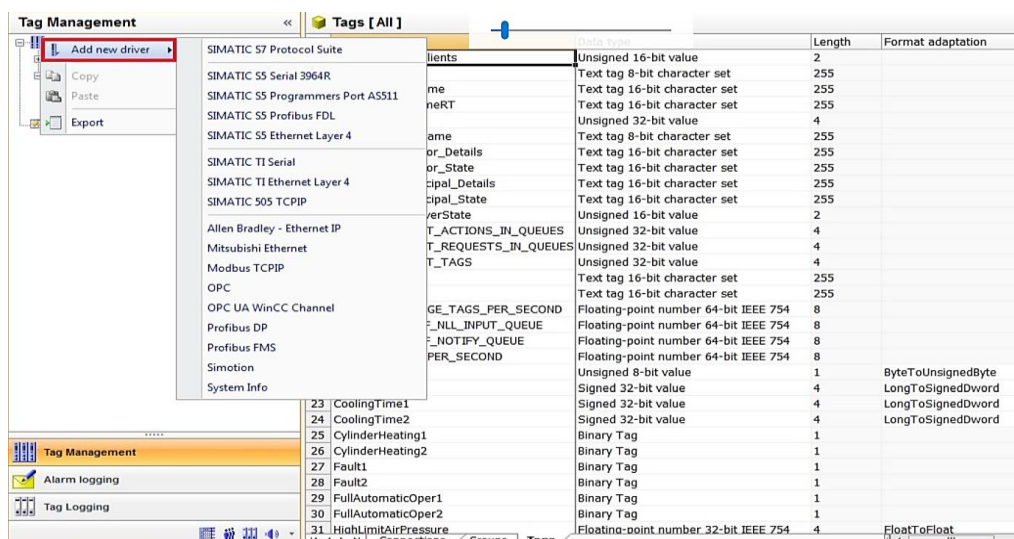


Εικόνα 131: Ρύθμιση παραμέτρων εμφάνισης των εικόνων εργασίας της εφαρμογής

7.3 Εγκατάσταση driver επικοινωνίας και ορισμός μεταβλητών εφαρμογής

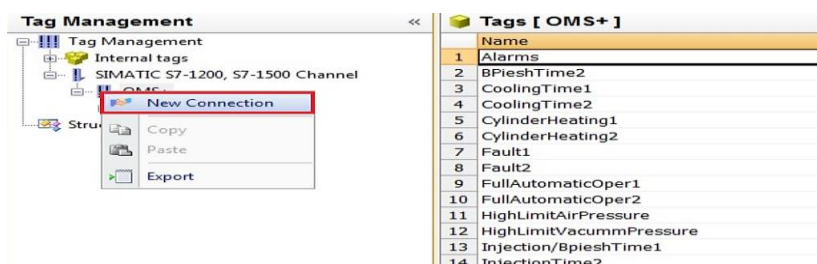
Το επόμενο βήμα στην ανάπτυξη της εφαρμογής του συστήματος SCADA είναι η επιλογή και η εγκατάσταση των προγραμμάτων οδήγησης (**drivers**) για την επικοινωνία και ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ του κεντρικού PLC του συστήματος και του H/Y – Server στον οποίο τρέχει η εφαρμογή που δημιουργήθηκε.

Προς την κατεύθυνση αυτή η επιλογή της καρτέλας **Tag Management** του navigation window ανοίγει ένα νέο παράθυρο. Αρχικά κάνοντας δεξί κλικ στην επιλογή **Tag Management** εμφανίζεται ένα μενού στο οποίο επιλέγοντας το tab **Add new driver** εμφανίζονται όλες οι διαθέσιμες επιλογές των προγραμμάτων οδήγησης για την εγκαθίδρυση επικοινωνίας μεταξύ PLC και H/Y. Βάση του υλικού που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη του project (Siemens S7-1200) ο driver που επιλέχθηκε είναι ο **SIMATIC S7-1200, S7-1500 Channel**.



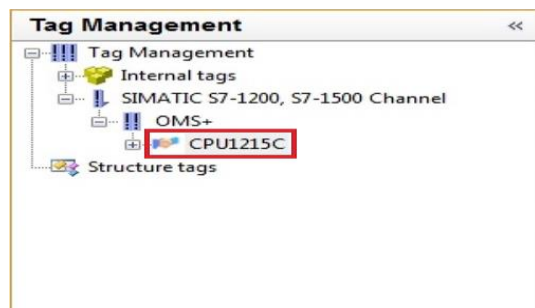
Εικόνα 132: Επιλογή driver επικοινωνίας PLC και H/Y

Έχοντας επιλέξει το σωστό πρόγραμμα οδήγησης από την λίστα των διαθέσιμων κάνοντας δεξί κλικ στην επιλογή **OMS+** εμφανίζεται ένα παράθυρο όπου μέσω της επιλογής **New Connection** δημιουργείται η σύνδεση για την επικοινωνία του H/Y με το PLC στην οποία δίνεται το όνομα **CPU1215C**.



Εικόνα 133: Δημιουργία σύνδεσης

Ακολουθώντας για τη ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας της σύνδεσης που μόλις δημιουργήθηκε κάνοντας δεξί κλικ στη σύνδεση **CPU1215C** όπως φαίνεται στην εικόνα 134 εμφανίζονται οι επιλογές της εικόνας 135. Από εκεί επιλέγοντας το μενού **Connection Parameters** εμφανίζεται το αναδυόμενο παράθυρο της εικόνας 135.

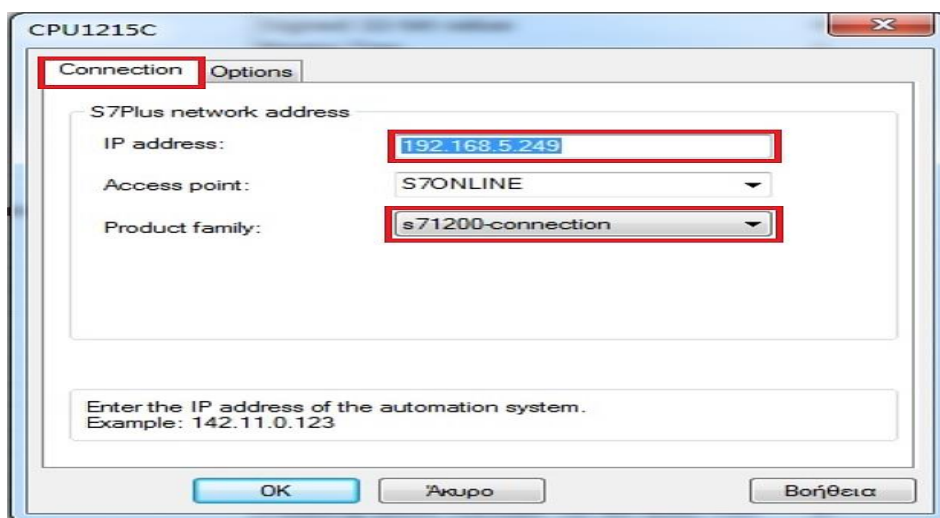


Εικόνα 134 Επιλογή της σύνδεσης που δημιουργήθηκε



Εικόνα 135: Παραμετροποίηση σύνδεσης

Στο σημείο αυτό επιλέγοντας την καρτέλα **Connection** καθορίζεται η IP διεύθυνση του PLC με το οποίο θα επικοινωνεί η εφαρμογή και η οποία όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο είναι η **192.168.5.249**. Επιπρόσθετα ορίζεται και ο τύπος του εξοπλισμού με τον οποίο θα επικοινωνεί η εφαρμογή που είναι **s71200-connection**.



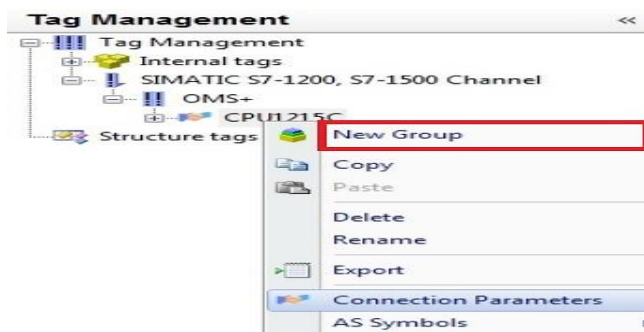
Εικόνα 136: Καθορισμός παραμέτρων

Η μεταφορά δεδομένων από το σύστημα αυτοματισμού (PLC) στο λογισμικό WinCC γίνεται με τη μορφή μεταβλητών (**Tags**). Κάθε μεταβλητή χαρακτηρίζεται από μία διεύθυνση, η οποία χρησιμοποιείται για τη επικοινωνία και τη μεταφορά των τιμών των μεταβλητών που αποθηκεύονται στο πρόγραμμα που τρέχει στο PLC, καθώς και από ένα συμβολικό όνομα.

Γενικά στο λογισμικό WinCC υπάρχουν 2 ειδών μεταβλητές, α) οι **εξωτερικές μεταβλητές** (external tags) και β) οι **εσωτερικές μεταβλητές** (internal tags).

Οι εξωτερικές μεταβλητές είναι υπεύθυνες για τη μεταφορά των τιμών και των δεδομένων από την περιοχή δεδομένων της μνήμης του προγραμματιζόμενου ελεγκτή (PLC) προς το λογισμικό WinCC. Αντίθετα οι εσωτερικές μεταβλητές έχουν να κάνουν με ορισμένα τμήματα της μνήμης του WinCC τα οποία χρησιμοποιούνται για εσωτερικά θέματα του λογισμικού και για τη λειτουργία προσομοίωσης.

Στην παρούσα εργασία για την απρόσκοπτη μεταφορά δεδομένων από το κεντρικό PLC του συστήματος προς την εφαρμογή HMI, που αναπτύχθηκε μέσω του λογισμικού WinCC, χρησιμοποιήθηκαν **εξωτερικές μεταβλητές** οι οποίες μάλιστα ταξινομήθηκαν σε **group** ανάλογα με την κατηγορία κάθε συστήματος ξεχωριστά που ενσωματώθηκε στο σύστημα SCADA. Η δημιουργία του κάθε group μεταβλητών γίνεται κάνοντας δεξί κλικ στη σύνδεση **CPU1215C**. Στη συνέχεια από το μενού που εμφανίζεται στην εικόνα 136 επιλέγοντας **New Group** δημιουργείται μία νέα ομάδα όπου μέσα της συμπεριληφθούν οι μεταβλητές της εκάστοτε κατηγορίας.



Εικόνα 137: Δημιουργία group μεταβλητών

Έτσι το πρώτο group μεταβλητών αφορά τις 2 IMM που εντάχθηκαν στο σύστημα SCADA. Το όνομα του συγκεκριμένου group είναι **Ext_Group1** και σε αυτό περιλαμβάνονται οι μεταβλητές στις οποίες αποθηκεύονται οι χρόνοι που παρακολουθούνται για τις δύο μηχανές Krauss Maffei και Demag καθώς και οι μεταβλητές στις οποίες αποθηκεύονται κάποιες καταστάσεις λειτουργίας των μηχανών. Όπως παρατηρείται στην ακόλουθη εικόνα τα πεδία **Name**, **Data type** και **Address** είναι απολυτός ταυτισμένα με τα αντίστοιχα πεδία των μεταβλητών που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη του PLC του συστήματος.

Name	Data type	Length	Format adaptation	Connection	Group	Address
1 BPIeshTime2	Signed 32-bit value	4	LongToSignedDword	CPU1215C	Ext_Group1	MD44
2 CoolingTime1	Signed 32-bit value	4	LongToSignedDword	CPU1215C	Ext_Group1	MD24
3 CoolingTime2	Signed 32-bit value	4	LongToSignedDword	CPU1215C	Ext_Group1	MD48
4 CylinderHeating1	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group1	M2.4
5 CylinderHeating2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group1	M4.4
6 Fault1	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group1	M2.6
7 Fault2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group1	M4.6
8 FullAutomaticOper1	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group1	M2.5
9 FullAutomaticOper2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group1	M4.5
10 Injection/BPIeshTime1	Signed 32-bit value	4	LongToSignedDword	CPU1215C	Ext_Group1	MD20
11 InjectionTime2	Signed 32-bit value	4	LongToSignedDword	CPU1215C	Ext_Group1	MD40
12 MachineCycleTime1	Signed 32-bit value	4	LongToSignedDword	CPU1215C	Ext_Group1	MD12
13 MachineCycleTime2	Signed 32-bit value	4	LongToSignedDword	CPU1215C	Ext_Group1	MD32
14 MachineTimeWithoutRob1	Signed 32-bit value	4	LongToSignedDword	CPU1215C	Ext_Group1	MD16
15 MachineTimeWithoutRob2	Signed 32-bit value	4	LongToSignedDword	CPU1215C	Ext_Group1	MD36
16 PlasticisingTime1	Signed 32-bit value	4	LongToSignedDword	CPU1215C	Ext_Group1	MD28
17						
18						

Εικόνα 138: 1^ο group εξωτερικών μεταβλητών

Στη συνέχεια παρατίθεται το δεύτερο group μεταβλητών **Ext_Group2** το οποίο περιλαμβάνει τις μεταβλητές κατάστασης του συστήματος αντλιών κυκλοφορίας

νερού του εργοστασίου, καθώς και τις μεταβλητές ενεργοποίησης και απενεργοποίησης των δύο συστημάτων. Και στην περίπτωση υπάρχει ταύτιση των πεδίων **Name**, **Data type** και **Address** με τα αντίστοιχα των μεταβλητών της μνήμης του PLC.

Name	Data type	Length	Format adaptation	Connection	Group	Address
1 leitourgia1	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M4.7
2 leitourgia2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M5.1
3 leitourgia3	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M5.3
4 leitourgia4	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M5.5
5 leitourgia5	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M5.7
6 leitourgiaTriP	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M6.6
7 leitourgiaTwP	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M6.5
8 oEnableTriP	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	Q0.0
9 oEnableTwP	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	Q0.1
10 start1	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M6.1
11 start2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M6.3
12 stop1	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M6.2
13 stop2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M6.4
14 vlavh1	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M5.0
15 vlavh2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M5.2
16 vlavh3	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M5.4
17 vlavh4	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M5.6
18 vlavh5	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group2	M6.0
19						

Εικόνα 139: 2^ο group εξωτερικών μεταβλητών

Όμοια με τα παραπάνω το τρίτο group **Ext_Group3** αποτελείται από τις μεταβλητές στις οποίες μεταφέρονται οι τιμές μέτρησης των αισθητήρων πίεσης και κενού καθώς και τιμές που έχουν να κάνουν με τις καταστάσεις λειτουργίας του εξοπλισμού που υποστηρίζει το κεντρικό δίκτυο πεπιεσμένου αέρα. Επιπλέον και σε αυτή την περίπτωση ισχύει η παρατήρηση που ειπώθηκε παραπάνω για τα πεδία **Name**, **Data type** και **Address**.

Name	Data type	Length	Format adaptation	Connection	Group	Address
1 HighLimitAirPressure	Floating-point number 32-bit IEEE 754	4	FloatToFloat	CPU1215C	Ext_Group3	MD72
2 HighLimitVacuumPressure	Floating-point number 32-bit IEEE 754	4	FloatToFloat	CPU1215C	Ext_Group3	MD80
3 leitourgiaS29-2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group3	M8.1
4 leitourgiaS60-2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group3	M7.3
5 leitourgiaSF60-2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group3	M7.7
6 LowLimitAirPressure	Floating-point number 32-bit IEEE 754	4	FloatToFloat	CPU1215C	Ext_Group3	MD68
7 LowLimitVacuumPressure	Floating-point number 32-bit IEEE 754	4	FloatToFloat	CPU1215C	Ext_Group3	MD76
8 oEnableS29-2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group3	Q0.3
9 oEnableS60-2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group3	Q0.2
10 PieshAera	Floating-point number 32-bit IEEE 754	4	FloatToFloat	CPU1215C	Ext_Group3	MD56
11 PieshKenou	Floating-point number 32-bit IEEE 754	4	FloatToFloat	CPU1215C	Ext_Group3	MD64
12 StartS29-2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group3	M8.3
13 StartS60-2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group3	M7.5
14 StopS29-2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group3	M8.4
15 StopS60-2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group3	M7.6
16 vlavhS29-2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group3	M8.2
17 vlavhS60-2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group3	M7.4
18 vlavhSF60-2	Binary Tag	1		CPU1215C	Ext_Group3	M8.0
19						

Εικόνα 140: 3^ο group εξωτερικών μεταβλητών

Τέλος το τελευταίο group **Ext_Group4** αποτελείται από μόνο μία μεταβλητή με όνομα **Alarms** μεγέθους 1 byte. Σε αυτή τη μεταβλητή μεταφέρονται οι καταστάσεις των σημάτων alarm που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη του κεντρικού PLC. Και στην περίπτωση αυτή τα πεδία **Name**, **Data type** και **Address** είναι απολυτός ταυτισμένα με τα αντίστοιχα της μεταβλητής alarm της μνήμης του PLC.

Name	Data type	Length	Format adaptation	Connection	Group	Address
1 Alarms	Unsigned 8-bit value	1	ByteToUnsignedByte	CPU1215C	Ext_Group4	MB9
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Εικόνα 141: 4^ο group εξωτερικών μεταβλητών

7.4 Δημιουργία εικόνων (pictures) της εφαρμογής HMI

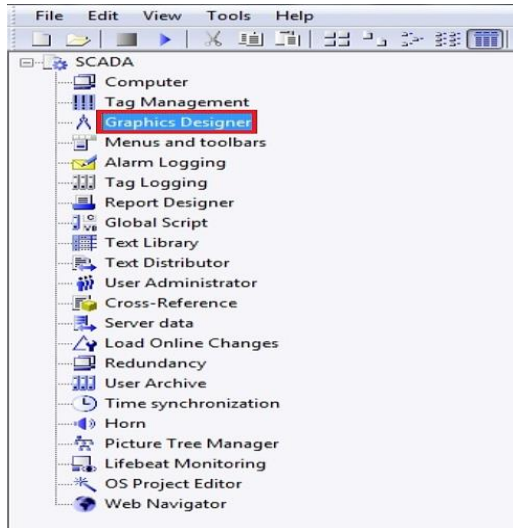
Το επόμενο στάδιο ανάπτυξης της εφαρμογής HMI έχει να κάνει με το γραφικό περιβάλλον του project και συγκεκριμένα με τη δημιουργία των γραφικών και των εικόνων μέσω των οποίων ο χειριστής του συστήματος θα παρακολουθεί και θα αλληλεπιδρά με τις διεργασίες που μελετώνται.

Για τη δημιουργία του του γραφικού περιβάλλοντος και των αντίστοιχων εικόνων χρησιμοποιείται ένα από τα κύρια προγράμματα του λογισμικού WinCC που είναι το πρόγραμμα **Graphics Designer**.

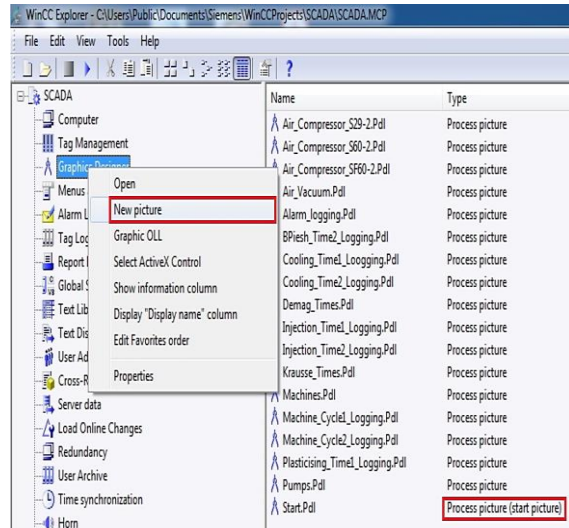
Στις υποενότητες που ακολουθούν θα δημιουργηθούν μία προς μία όλες οι εικόνες (**objects**) που θα αποτελέσουν το γραφικό περιβάλλον της HMI εφαρμογής.

7.4.1 Εικόνα εκκίνησης – Start.Pdl

Η εικόνα εκκίνησης της εφαρμογής HMI ονομάζεται **Start.Pdl** και αποτελεί την πρώτη εικόνα που εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή στον οποίο τρέχει η εφαρμογή. Για τη δημιουργία της συγκεκριμένης εικόνας από το navigation window του WinCC επιλέχθηκε η καρτέλα **Graphics Designer** όπως παρουσιάζεται στην επόμενη εικόνα. Ακολούθως κάνοντας δεξί κλικ στην επιλογή **Graphics Designer** και επιλέγοντας το μενού **New picture** δημιουργείται η εικόνα με όνομα **Start.Pdl** η οποία ορίζεται ως εικόνα εκκίνησης.



Εικόνα 142: Πρόγραμμα Graphics Designer

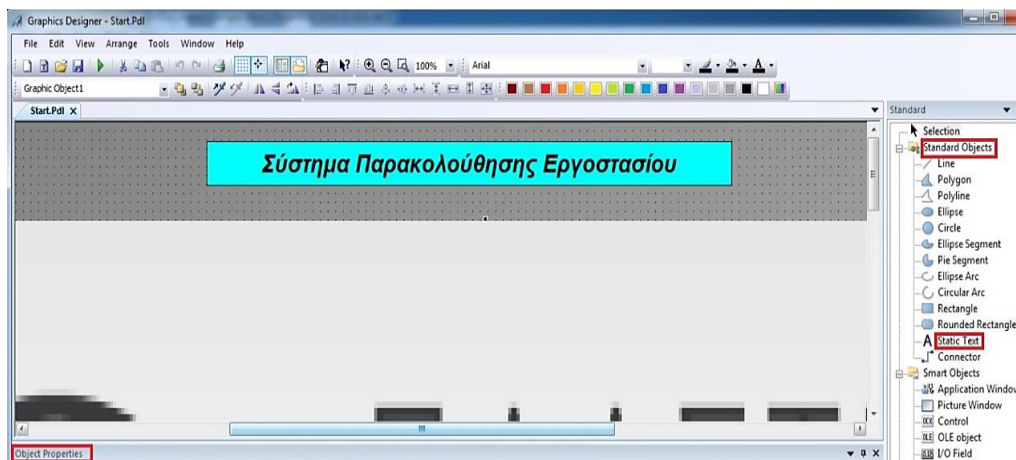


Εικόνα 143: Δημιουργία εικόνας εκκίνησης

Η εικόνα **Start.Pdl** αποτελεί ουσιαστικά ένα γενικό μενού μέσα από το οποίο ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περιηγηθεί στις βασικές επιλογές της HMI εφαρμογής που είναι οι εξής:

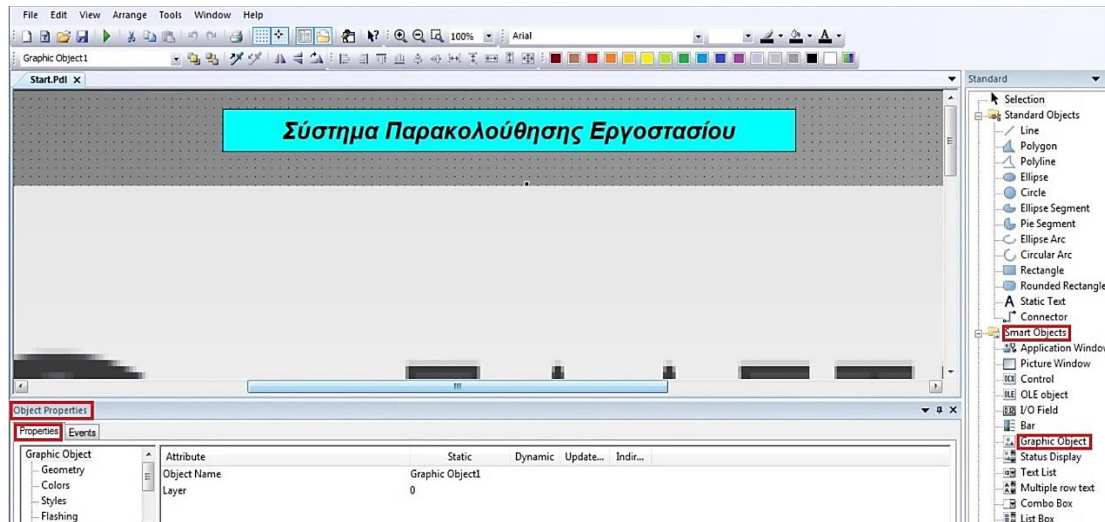
- a. Οι μηχανές IMM
- b. Οι αντλίες κυκλοφορίας νερού
- c. Το δίκτυο πεπιεσμένου αέρα και κενού
- d. Τα μηνύματα εκτάκτων καταστάσεων (Alarms)

Αρχικά στο επάνω μέρος της εικόνας δημιουργήθηκε ένα πλαίσιο κειμένου στο οποίο αναγράφεται ο τίτλος της εφαρμογής που αναπτύχθηκε, ο οποίος είναι **Σύστημα Παρακολούθησης Εργοστασίου**. Για τη δημιουργία αυτού του πλαισίου επιλέχθηκε το στοιχείο **Static Text** της καρτέλας **Standard Objects**. Στη συνέχεια κάνοντας αριστερό κλικ πάνω στο συγκεκριμένο στοιχείο στο κάτω μέρος της οθόνης του υπολογιστή εμφανίζεται η καρτέλα **Object Properties** μέσω της οποίας ορίζονται ιδιότητες όπως το κείμενο που θα περιλαμβάνεται στο πλαίσιο, χρώμα φόντου, διαστάσεις πλαισίου κ.α.



Εικόνα 144: Static text εικόνας Start.Pdl

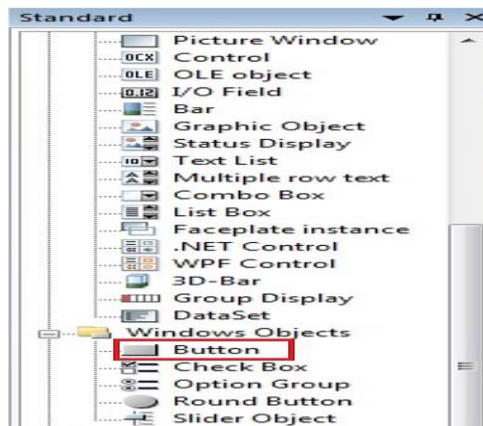
Στη συνέχεια στο κέντρο της εικόνας **Start.Pdl** δημιουργήθηκε ένα πλαίσιο με την επωνυμία της εταιρίας για την οποία αναπτύχθηκε η συγκεκριμένη εφαρμογή. Για τη δημιουργία του πλαισίου αυτού από την καρτέλα **Smart Objects** επιλέχθηκε το στοιχείο **Graphic Object**. Όπου και πάλι επιλέγοντας το συγκεκριμένο στοιχείο κάνοντας αριστερό κλικ εμφανίζεται η καρτέλα **Object Properties** για τον ορισμό των ιδιοτήτων του συγκεκριμένου αντικειμένου.



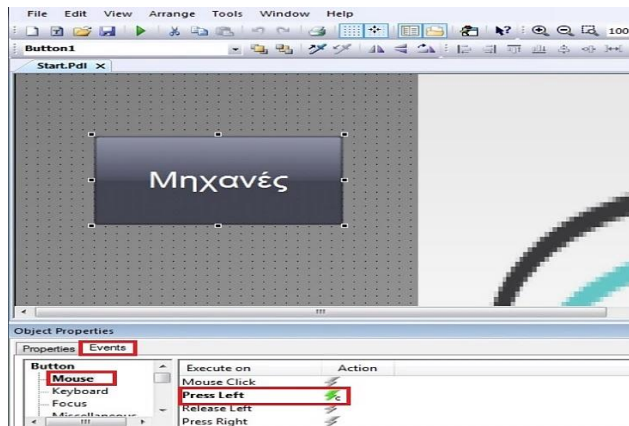
Εικόνα 145: Graphic object εικόνας Start.Pdl

Ακολούθως όπως αναφέρθηκε προηγουμένως η περιήγηση στα επιμέρους μενού γίνεται μέσω γίνεται μέσω ορισμένων **buttons** που βρίσκονται στην αρχική οθόνη **Start.Pdl**. Έτσι το πρώτο button της αρχικής εικόνας αφορά την μετάβαση σε μία νέα εικόνα που έχει να κάνει με τις μηχανές Krauss Maffei και Demag που εντάχθηκαν στο σύστημα.

Για τη δημιουργία του συγκεκριμένου button ακολουθείται η εξής διαδικασία. Από την καρτέλα **Windows Objects** επιλέγεται το αντικείμενο **Button**. Το όνομα που δίνεται στο συγκεκριμένο button είναι **Μηχανές**. Στη συνέχεια επιλέγοντας το συγκεκριμένο αντικείμενο ακολουθείται από την καρτέλα **Events** η επιλογή **Mouse**. Στο σημείο αυτό όπως απεικονίζεται και στην εικόνα 147 το πάτημα του αριστερού πλήκτρου του ποντικιού ενεργοποιεί μία συνάρτηση σε γλώσσα C μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η μετάβασή στην εικόνα **Machines.Pdl**.

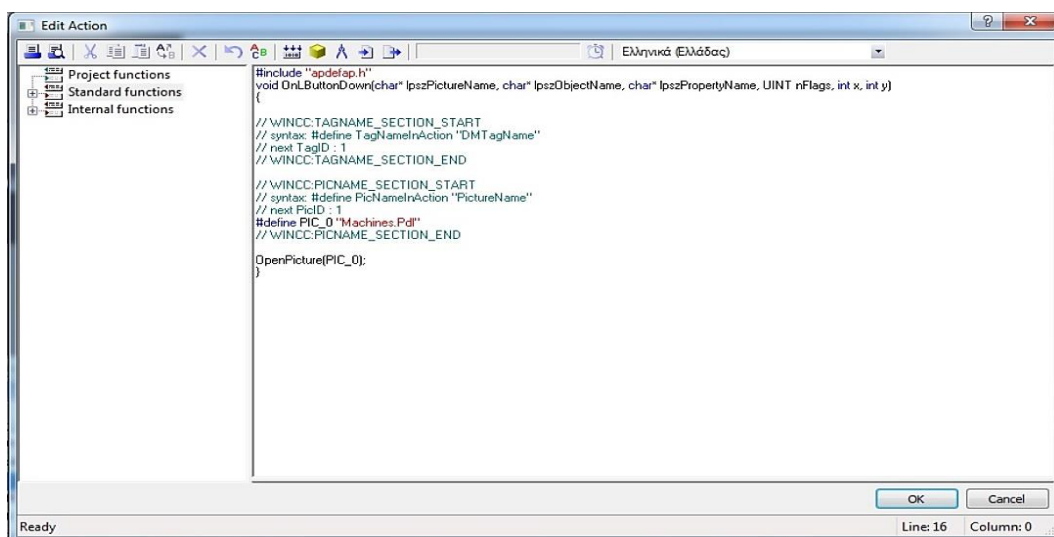


Εικόνα 146 Επιλογή αντικειμένου Button - εικόνα Start.Pdl



Εικόνα 147: Λειτουργία μετάβασης Button Μηχανές - εικόνα Start.Pdl

Η εικόνα 148 απεικονίζει τον κώδικα σε C βάση του οποίου επιτυγχάνεται η μετάβαση στην εικόνα **Machines.Pdl**.



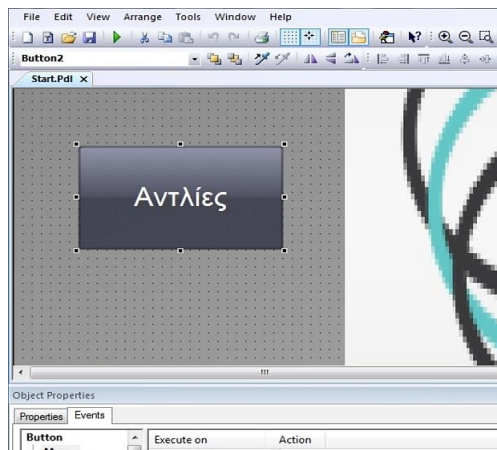
Εικόνα 148: Κώδικας μετάβασης από το πάτημα του Button Μηχανές – στην εικόνα Machines.Pdl

Η ακριβώς ίδια διαδικασία ακολουθείται και για τα υπόλοιπα 3 buttons εικόνας **Start.Pdl** τα οποία εκτελούν τις ακόλουθες μεταβάσεις.

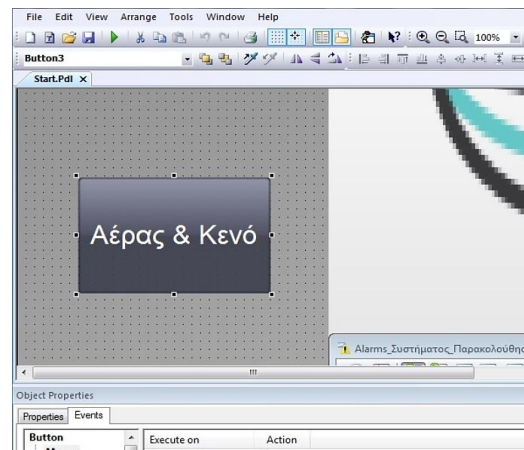
- Button Αντλίες —————> **Pumps.Pdl**
- Button Αέρας & Κενό —————> **Pumps.Pdl**
- Button Alarms —————> **Alarm_Logging.Pdl**

Επιπλέον οι συναρτήσεις μετάβασης είναι πανομοιότυπες με αυτή της εικόνας 148. Για λόγους συντομίας παρατίθενται μόνο οι εικόνες που ορίζουν τις μεταβάσεις κάθε button αντίστοιχα. Το τελευταίο στοιχείο της εικόνας **Start.Pdl** αποτελεί το ρολόι της εφαρμογής το οποίο εμφανίζει τη τρέχουσα ώρα και ημερομηνία του συστήματος (τοπική ώρα) ώστε ο εκάστοτε χρήστης να λαμβάνει αυτή την πληροφόρηση από την αρχική εικόνα του της HMI εφαρμογής. Για τη δημιουργία του ρολογιού από την καρτέλα **Controls** επιλέγεται το αντικείμενο **WinCC Digital/Analog Clock** που

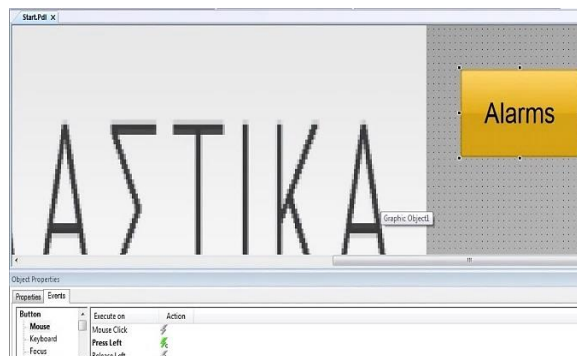
αποτελεί ενσωματωμένο στοιχείο που προσφέρει το λογισμικό WinCC. Στις ιδιότητες του συγκεκριμένου αντικειμένου επιλέγεται η ψηφιακή του μορφή.



Εικόνα 149: Λειτουργία μετάβασης Button Αντλίες - εικόνα Start.Pdl



Εικόνα 150: Λειτουργία μετάβασης Button Αέρας & Κενό - εικόνα Start.Pdl



Εικόνα 151: Λειτουργία μετάβασης Button Alarms - εικόνα Start.Pdl

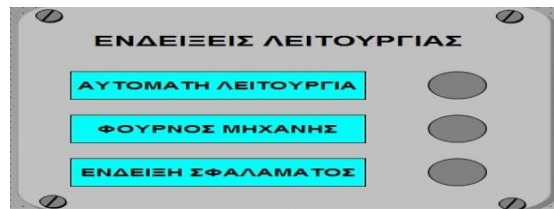


Εικόνα 152: Ρολόι εφαρμογής - εικόνα Start.Pdl

7.4.2 Εικόνα μηχανών – Machines.Pdl

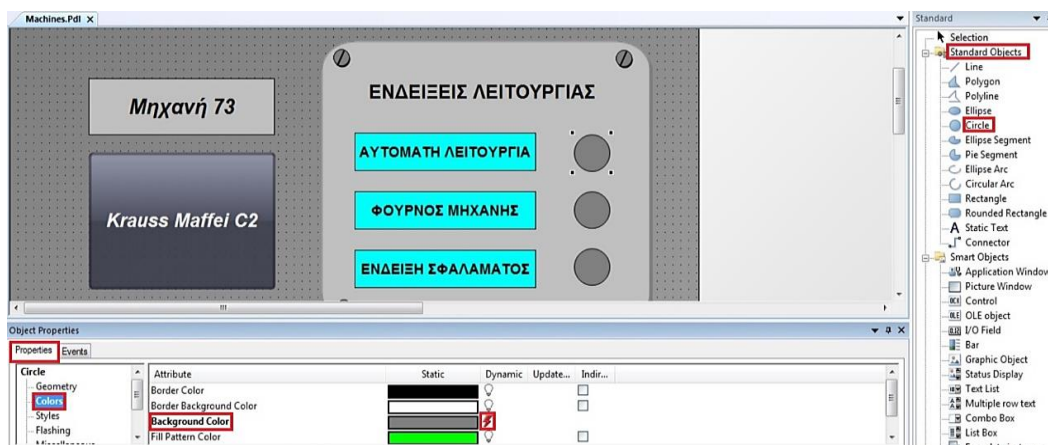
Στην παρούσα υποενότητα αναλύεται η εικόνα **Machine.Pdl** στην οποία εμφανίζονται οι απαραίτητες πληροφορίες που συλλέγονται από το σύστημα SCADA για τη λειτουργία των 2 IMM.

Αρχικά η συγκεκριμένη εικόνα περιλαμβάνει ένα σύνολο αντικειμένων το οποίο αποτελείται από 4 **Static Text** και 3 αντικείμενα **Circle** που έχουν ομαδοποιηθεί και τα οποία δίνουν στο χρήστη τις πρώτες βασικές πληροφορίες για την κατάσταση των μηχανών.



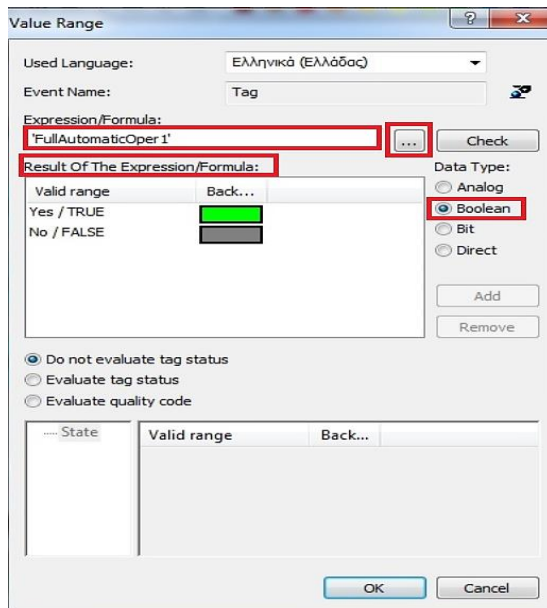
Εικόνα 153: Ενδείξεις λειτουργίας - εικόνα Machine.Pdl

Έτσι για την πρώτη μηχανή του συστήματος (Krauss Maffei) δίπλα από το **Static Text** ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ εισάγεται ένα αντικείμενο **Circle** από την επιλογή **Standard Objects**. Κάνοντας κλικ στο συγκεκριμένο αντικείμενο από την καρτέλα **Properties** επιλέγεται η μετάβαση στην επιλογή **Colors**. Όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 154 ο σκοπός της δημιουργίας αυτού του αντικειμένου είναι η οποιαδήποτε αλλαγή στην κατάσταση της μεταβλητής με την οποία έχει συνδεθεί το συγκεκριμένο αντικείμενο να προκαλεί αντίστοιχη αλλαγή του χρώματος φόντου του αντικειμένου **Circle**. Αυτό επιτυγχάνεται πηγαίνοντας στην ιδιότητα **Background Color** του αντικειμένου και κάνοντας αριστερό κλικ στο πεδίο **Dynamic** εμφανίζεται το παράθυρο της εικόνας 155.

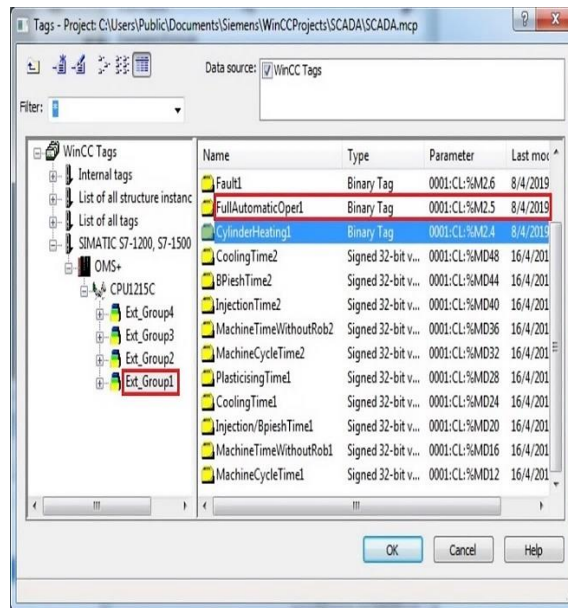


Εικόνα 154: Αυτόματη Λειτουργία μηχανή 73 - εικόνα Machine.Pdl

Στο αναδυόμενο παράθυρο της εικόνας 155 αρχικά στο πεδίο **Expression/Formula** και επιλέγοντας την αναζήτηση (σύμβολο ...) εμφανίζεται το παράθυρο της εικόνας 156 μέσω του οποίου γίνεται η επιλογή της μεταβλητής με την οποία θα συνδεθεί η ιδιότητα **Background Color** του αντικειμένου **Circle**. Στην περίπτωση αυτή η μεταβλητή είναι η **FullAutomaticOper1** του **Ext_Group1**. Επιπλέον στο πεδίο **Data Type** του παραθύρου της εικόνας 155 γίνεται η επιλογή **Boolean** μίας και η μεταβλητή **FullAutomaticOper1** είναι τύπου **Boolean**, και ορίζεται στο πεδίο **Results of The Expression/Formula** όταν η κατάσταση της εν λόγω μεταβλητής είναι το λογικό 1 το χρώμα φόντου του αντικειμένου **Circle** να είναι το πράσινο. Σε αντίθετη περίπτωση θα είναι το γκρι. Τα παραπάνω απεικονίζονται στις ακόλουθες εικόνες.



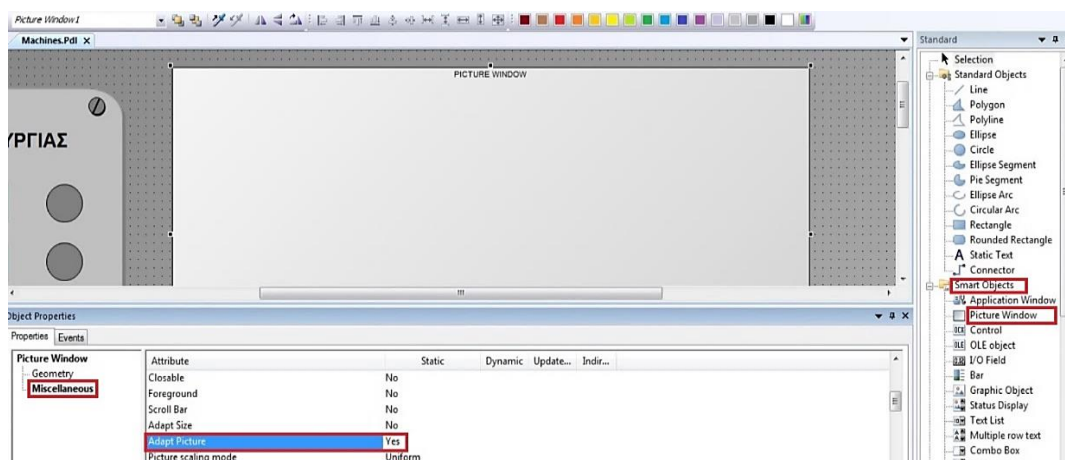
Εικόνα 155: Σύνδεση μεταβλητής FullAutomaticOper1 με την ιδιότητα - εικόνα Machine.Pdl



Εικόνα 156: Αναζήτηση της μεταβλητής FullAutomaticOper1 - εικόνα Machine.Pdl

Με την ίδια ακριβώς διαδικασία δημιουργούνται και ορίζονται και τα δύο επόμενα αντικείμενα **Circle** δίπλα από τις ενδείξεις **ΦΟΥΡΝΟΣ ΜΗΧΑΝΗΣ** και **ΕΝΔΕΙΞΗ ΣΦΑΛΜΑΤΟΣ** της μηχανής 73. Και στην περίπτωση αυτή η ιδιότητα **Background Color** των δύο αυτών αντικειμένων **Circle** συνδέεται με την κατάσταση των αντίστοιχων μεταβλητών **CylinderHeating1** και **Fault1**.

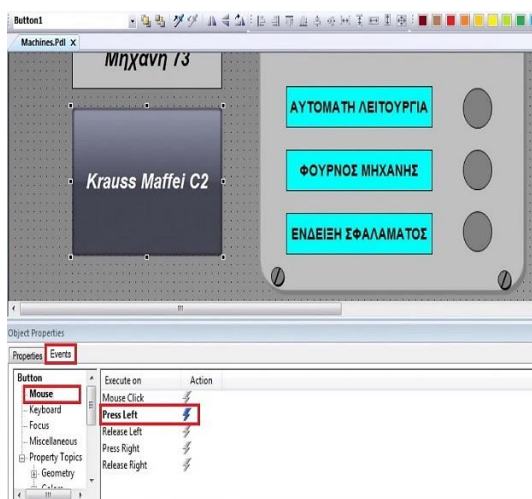
Ακολούθως για την μηχανή 73 δίπλα από την ομάδα ενδείξεων που περιεγράφηκε πιο πάνω τοποθετείται ένα παράθυρο εικόνας (**Picture Window**). Σκοπός του αντικειμένου αυτού είναι μέσα στο πλαίσιο που ορίζει να εμφανίζονται οι χρόνοι που υπολογιστήκαν στο κεφάλαιο 6 για την συγκεκριμένη μηχανή. Το αντικείμενο **Picture Window** βρίσκεται στην κατηγορία **Smart Objects** και για να εμφανίζονται κατάλληλα τα περιεχόμενα αυτού του παραθύρου θα πρέπει από τις ιδιότητες του αντικειμένου να ενεργοποιηθεί η επιλογή **Adapt Picture** του μενού **Miscellaneous**.



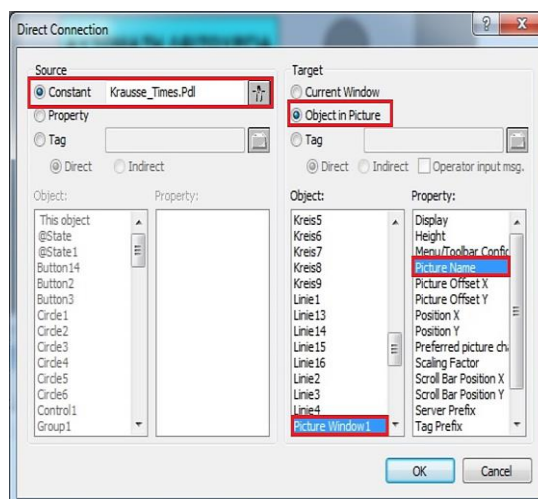
Εικόνα 157: Picture Window 1- εικόνα Machines.Pdl

Στη συνέχεια στην εικόνα **Machines.Pdl** δημιουργήθηκε το ένα button με όνομα **Krauss Maffei C2**, το οποίο όπως φαίνεται και από το όνομα του αναφέρεται στην πρώτη IMM που εντάχθηκε στο σύστημα SCADA (Krauss Maffei). Η λειτουργία του συγκεκριμένου button είναι με το πάτημα του να εμφανίζονται στο **Picture Window** που δημιουργήθηκε προηγουμένως οι χρόνοι τις μηχανής 73. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στον χειριστή του συστήματος SCADA πέραν των αρχικών ενδείξεων που μπορεί να έχει για τη μηχανή το πάτημα του συγκεκριμένου κουμπιού να του εμφανίζει αναλυτικά πληροφορίες όπως οι χρόνοι της μηχανής.

Η υλοποίηση της διαδικασίας αυτής έχει να κάνει ως εξής. Αφού δημιουργήσουμε το επιθυμητό **Button** όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη υποενότητα, επιλέγοντας το συγκεκριμένο αντικείμενο μεταβαίνουμε στην καρτέλα **Events**. Στη συνέχεια από το μενού **Mouse** κάνοντας δεξί κλικ στην επιλογή **Press Left** αναδύεται ένα μικρό παράθυρο από το οποίο επιλέγεται η λειτουργία **Direct Connection**. Η επιλογή **Direct Connection** εμφανίζει το παράθυρο της εικόνας 159. Στο αριστερό μέρος (προέλευση) κάτω από το μενού **Source** επιλέγεται το πεδίο **Constant** όπου κάνοντας δεξί κλικ στο κουμπί δεξιά του πεδίου εμφανίζεται ένα παράθυρο με τις εικόνες που έχουν δημιουργηθεί στο project. Για τη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγεται η εικόνα **Krauss_Times.Pdl** η οποία θα αναλυθεί στη συνέχεια. Στο δεξί μέρος (σκέλος προορισμού) κάτω από το μενού **Target** επιλέγεται το πεδίο **Object in Picture** μίας και η εικόνα **Krausse_Times.Pdl** θα πρέπει να εμφανίζεται εντός του **Picture Window** το οποίο αποτελεί αντικείμενο της τρέχουσας εικόνας **Machines.Pdl**. Για να ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία θα πρέπει από το μενού **Object** να επιλεγεί το **Picture Window1** από το οποίο θα πρέπει να αλλάξει η ιδιότητα του ονόματος του όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 159.



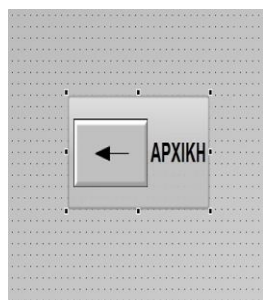
Εικόνα 158: Διαμόρφωση button Krauss Maffei C2 - εικόνα Machines.Pdl



Εικόνα 159: Σύνδεση εικόνας Krausse_Times.Pdl με το αντικείμενο Picture Window1 - εικόνα Machines.Pdl

Τα αντίστοιχα αντικείμενα ομάδα ενδείξεων, Picture Window και button μετάβασης στους χρόνους δημιουργήθηκαν και για την μηχανή 28 (Demag El-Exis) ακολουθώντας ανακριβώς την ίδια διαδικασία. Τα δύο τελευταία αντικείμενα που παρουσιάζονται στην εικόνα **Machines.Pdl** είναι ένα **Static Text** με τίτλο

ΠΑΡΑΓΩΓΗ 1 το οποίο κάνει σαφές ότι οι μηχανές 73 και 28 ανήκουν στην 1^η γραμμή παραγωγής και ένα επιπλέον button μετάβασης στην αρχική εικόνα της HMI εφαρμογής το όνομα του οποίου είναι **ΑΡΧΙΚΗ** και η υλοποίηση του παρουσιάζεται στην εικόνα 161.



**Εικόνα 160: Button
ΑΡΧΙΚΗ - εικόνα
Machines.Pdl**

```

#include "spdefapi.h"
void OnLButtonDown(char* pszPictureName, char* pszObjectName, char* pszPropertyName, UINT nFlags, int x, int y)
{
    // WINCC-TAGNAME_SECTION_START
    // syntax: #define TagNameInAction "DMTagnName"
    // next TagID : 1
    // WINCC-TAGNAME_SECTION_END

    // WINCC-PICNAME_SECTION_START
    // syntax: #define PicNameInAction "PictureName"
    // next PicID : 1
    // WINCC-PICNAME_SECTION_END

    OpenHomePicture();
}
    
```

Εικόνα 161: Κώδικας του button ΑΡΧΙΚΗ - εικόνα Machines.Pdl

7.4.3 Εικόνες για χρόνους μηχανών – Krauss_Times.Pdl & Demag.Pdl

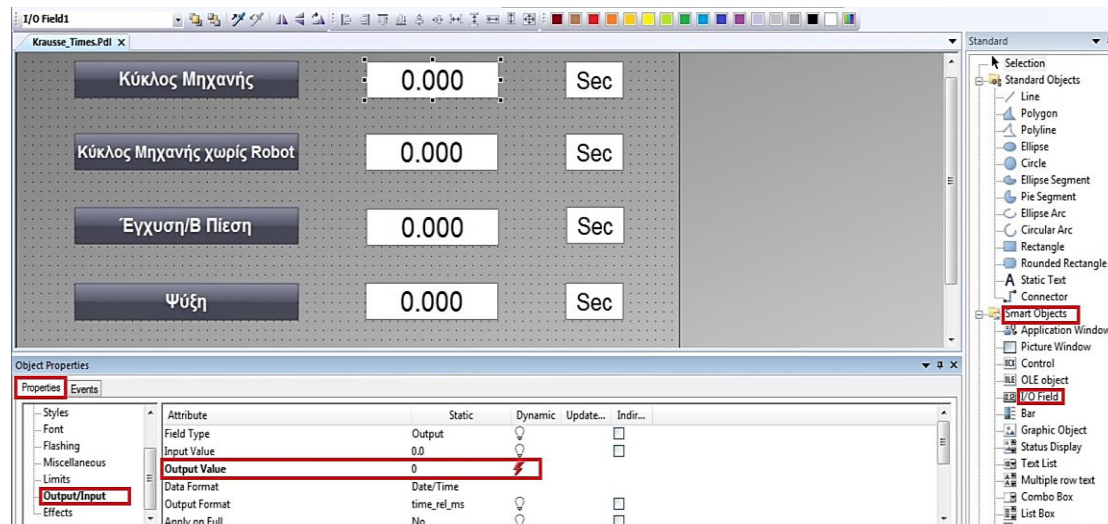
Στην παρούσα υποενότητα αναλύονται οι εικόνες **Krauss_Times.Pdl** και **Demag.Pdl** που εμφανίζονται στα πλαίσια των αντίστοιχών **Picture Windows** της εικόνας **Machines.Pdl**.

Όπως ήδη αναφέρθηκε ο σκοπός αυτών των εικόνων είναι να εμφανίζουν σε κατάλληλα πλαίσια τους βασικούς χρόνους που έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο 6 ώστε ο εκάστοτε χειριστής του συστήματος SCADA να παίρνει αναλυτικές πληροφορίες για κάθε μηχανή.

Βασικό στοιχείο για να υλοποιηθεί η παρουσίαση των κύριων χρόνων που αναφέρονται παραπάνω είναι το αντικείμενο **I/O Field**. Έτσι για την περίπτωση της μηχανής 73 (Krauss Maffei C2) δημιουργήθηκαν 5 τέτοια αντικείμενα. Το πρώτο **I/O Field** έχει να κάνει με την εμφάνιση του χρόνου του συνολικού **κύκλου της μηχανής** και η διαδικασία είναι η ακόλουθη.

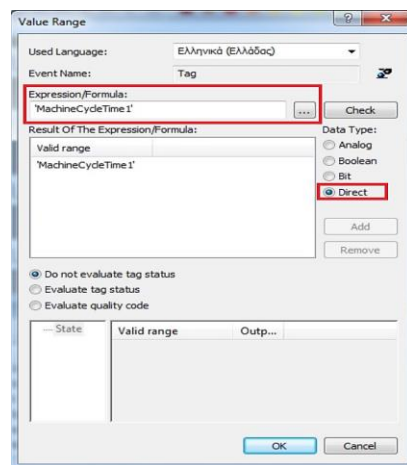
Αρχικά από το μενού **Smart Objects** επιλέγεται το αντικείμενο **I/O Field** και τοποθετείται δίπλα από το button **Κύκλος Μηχανής**. Εν συνεχεία από την καρτέλα **Properties** κάνοντας αριστερό κλικ στη λειτουργία **Output/Input** εμφανίζονται οι επιλογές διαμόρφωσης του τρόπου με τον οποίο θα προβάλλονται τα δεδομένα στο συγκεκριμένο **I/O Field**. Μεταξύ άλλων αξίζει να υπογραμμιστούν οι επιλογές των πεδίων Field Type το οποίο ορίζεται σαν **Output** αφού το συγκεκριμένο αντικείμενο θα παρουσιάζει μόνο δεδομένα και η επιλογή του πεδίου **Data Format** το οποίο

ορίζεται με διαμόρφωση **Date/Time** μίας θα παρουσιάζει χρόνο. Για να συνδεθεί η τιμή που θα προβάλλεται στο συγκεκριμένο **I/O Field** με την τιμή της μεταβλητής του **χρόνου κύκλου της μηχανής 73** γίνεται δεξί κλικ στο χαρακτηριστικό **Dynamic** του πεδίου **Output Value**. Η εικόνα 162 αποσαφηνίζει τη συγκεκριμένη διαδικασία.

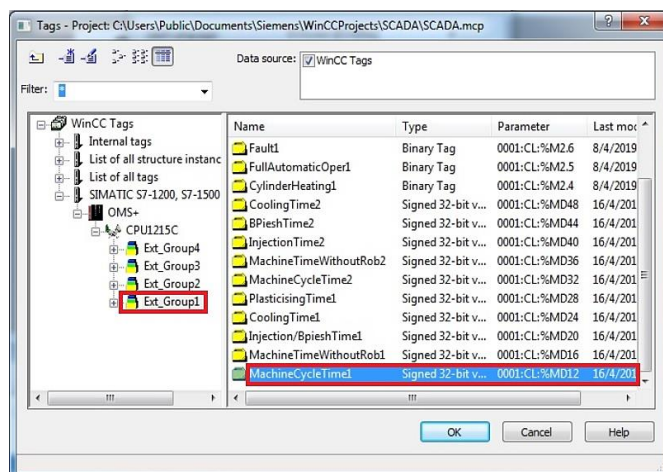


Εικόνα 162: Διαμόρφωση αντικείμενου I/O Field - εικόνα Krauss_Times.Pdl

Από το αναδυόμενο παράθυρο που εμφανίζεται (εικόνα 163) στο πεδίο **Expression/Formula** επιλέγεται η μεταβλητή του **Ext_Group1** με όνομα **MachineCycleTime1** ενώ από το πεδίο **Data Type** η διαμόρφωση **Direct**. Με αυτόν τον τρόπο ο χρόνος κύκλου της μηχανής 73 παρουσιάζεται στο αντίστοιχο **I/O Field** της εικόνας **Krauss_Times.Pdl**.



Εικόνα 163: Σύνδεση μεταβλητής με το αντικείμενο I/O Field - εικόνα Krauss_Times.Pdl

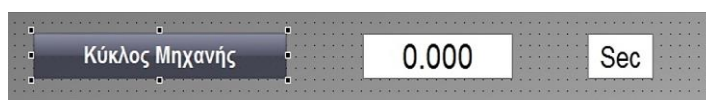


Εικόνα 164: Επιλογή μεταβλητής MachineCycleTime1 - εικόνα Krauss_Times.Pdl

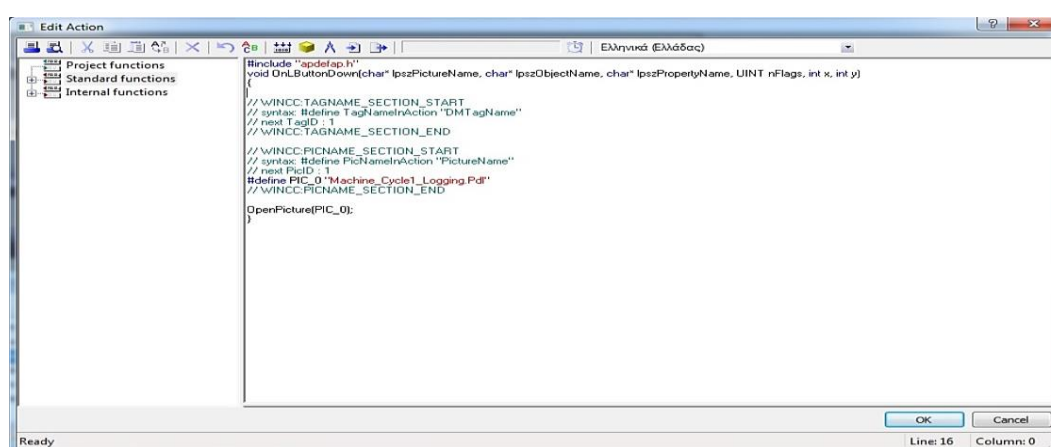
Επιπρόσθετα βάση του σχεδιασμού της HMI εφαρμογής για το σύστημα SCADA το πεδίο που βρίσκεται δίπλα από το **I/O Field** που εμφανίζει το χρόνο κύκλου της μηχανής 73 αποτελεί ένα button. Το όνομα αυτού του button είναι **Κύκλος Μηχανής** και όταν ο χειριστής του συστήματος SCADA πατήσει το συγκεκριμένο κουμπί μεταβαίνει ένα καινούργιο παράθυρο στο οποίο γίνεται καταγραφή των τιμών του

χρόνου κύκλου της μηχανής σε ένα πίνακα και παρουσίαση τους με τη μορφή γραφικής παράστασης. Με τον τρόπο αυτό αποκτά πολύ καλύτερη εικόνα για την εξέλιξη της συγκεκριμένης τιμής πέραν της απλής προβολής την τρέχουσα χρονική στιγμή (real time) στο **I/O Field** που δημιουργήθηκε.

Τα παραπάνω θα αναλυθούν περαιτέρω σε επόμενη υποενότητα που θα παρουσιαστεί αναλυτικά το Tag Logging. Εδώ απλά παρουσιάζεται η δημιουργία του συγκεκριμένου button.



Εικόνα 165: Button Κύκλος Μηχανής – εικόνα Krauss_Times.Pdl



Εικόνα 166: Κώδικας για το button Κύκλος Μηχανής – εικόνα Krauss_Times.Pdl

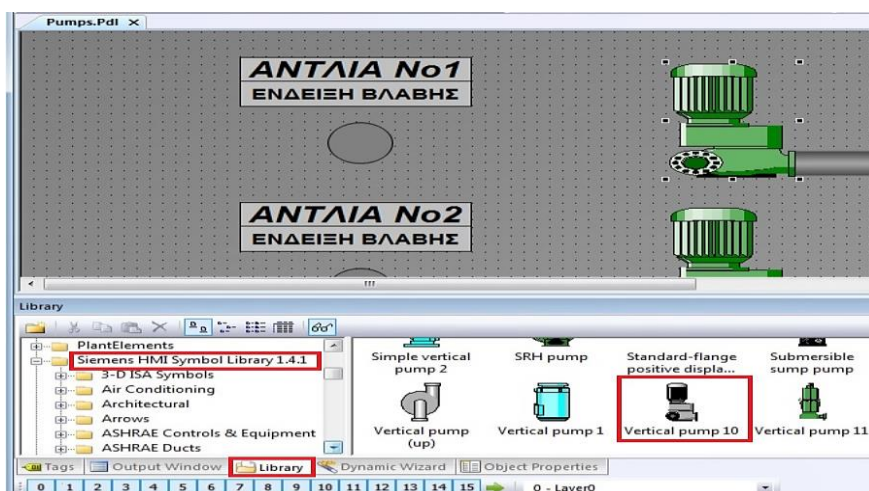
Η ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε για την παρουσίαση των τιμών της παραμέτρου **Κύκλος Μηχανής** και τη δημιουργία του αντίστοιχου button ακολουθήθηκε και για τις άλλες 4 παραμέτρους που παρακολουθούνται από το σύστημα SCADA για τη μηχανή 73. Επιπλέον τα ίδια ισχύουν και για την εικόνα **Demag_Times.Pdl** όπου παρουσιάζονται τα αντίστοιχα για τη μηχανή 28.

7.4.4 Εικόνα αντλιών κυκλοφορίας νερού – Pumps.Pdl

Η επόμενη εικόνα που θα αναλυθεί είναι η εικόνα **Pumps.Pdl** η οποία απεικονίζει το σύστημα των αντλιών οι οποίες είναι υπεύθυνες για την κυκλοφορία του νερού στο κεντρικό δίκτυο του εργοστασίου. Το τρίδυμο σύστημα εξυπηρετεί τις ανάγκες της γραμμής παραγωγής 1 ενώ το Δίδυμο την γραμμή παραγωγής 2.

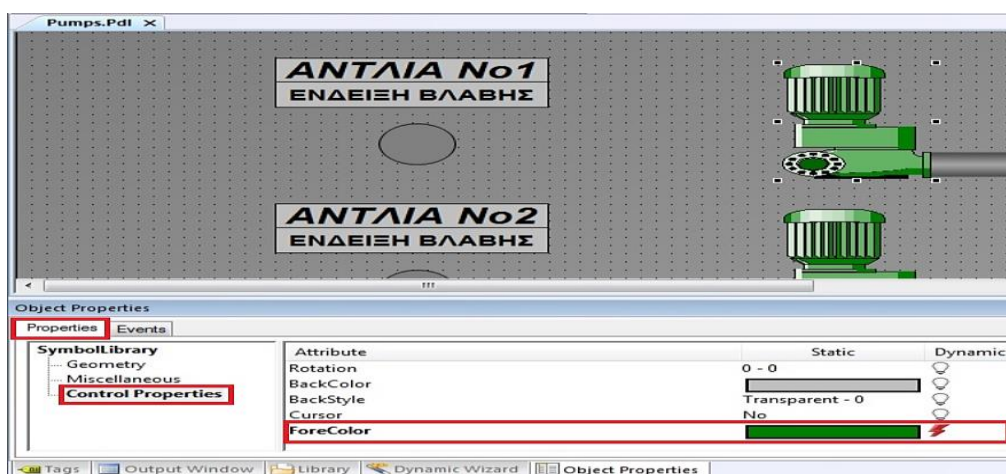
Αρχικά για την απεικόνιση των αντλιών της εικόνας **Pumps.Pdl** χρησιμοποιήθηκε από την καρτέλα **Library** ο φάκελος **Siemens HMI Symbol Library 1.4.1**. Έτσι για την αντλία No 1 του συστήματος κάνοντας αριστερό κλικ στην επιλογή **Pumps** του συγκεκριμένου φακέλου παρουσιάζεται μία γκάμα από έτοιμα αντικείμενα αντλιών της βιβλιοθήκης της Siemens. Στην εφαρμογή που αναπτύχθηκε επιλέχθηκε το

στοιχείο **Vertical Pump 10** το οποίο ταιριάζει με τις κάθετες αντλίες του συστήματος του εργοστασίου.



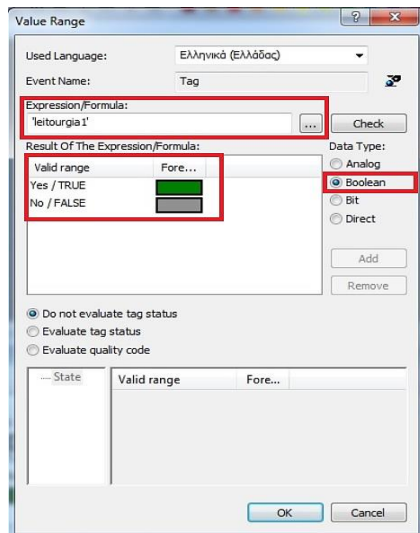
Εικόνα 167 Επιλογή αντικειμένου Pump – εικόνα Pumps.Pdl

Αφού επιλεγεί το συγκεκριμένο στοιχείο στη συνέχεια από την καρτέλα **Properties** γίνεται μετάβαση στο μενού **Control Properties**. Από εκεί η ιδιότητα **Fore Color** συνδέεται δυναμικά με τη μεταβλητή **leitourgia 1** που όπως έχει αναφερθεί στα προηγούμενα κεφάλαια αντιπροσωπεύει την κατάσταση λειτουργίας της συγκεκριμένης αντλίας.

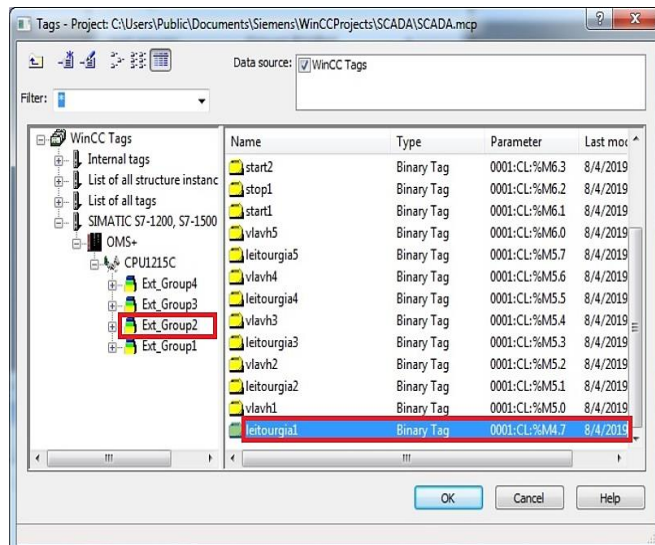


Εικόνα 168: Δυναμική αλλαγή της ιδιότητας Fore Color του αντικειμένου Pump1 – εικόνα Pumps.Pdl

Πιο συγκεκριμένα στο πεδίο **Expression/Formula** μέσω της αναζήτησης επιλέγεται το tag **leitourgia 1** (Ext_Group2), το πεδίο **Data Type** ορίζεται σαν **Boolean** διότι η συγκεκριμένη μεταβλητή είναι ψηφιακή και τέλος όταν η κατάσταση της μεταβλητής είναι το λογικό 1 το **Fore Color** του αντικειμένου **Pump** έχει χρώμα πράσινο ενώ σε αντίθετη περίπτωση γκρι.



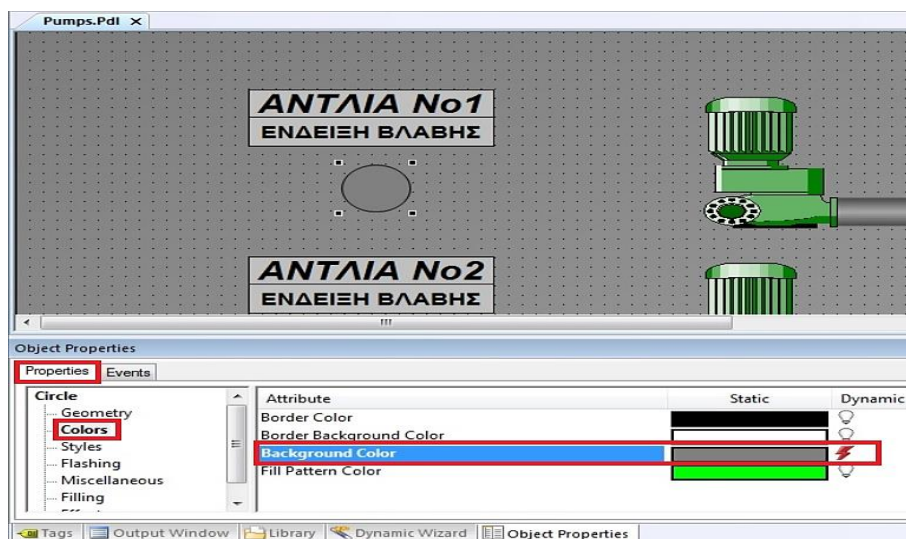
Εικόνα 169: Σύνδεση της μεταβλητής leitourgia1 με την ιδιότητα Fore Color – εικόνα Pumps.Pdl



Εικόνα 170: Επιλογή της μεταβλητής leitourgia1 – εικόνα Pumps.Pdl

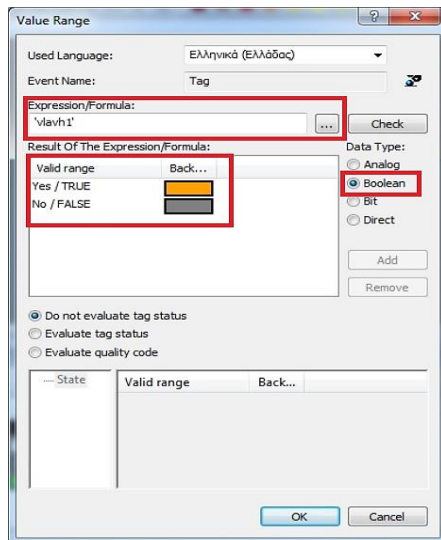
Επιπρόσθετα δίπλα από το αντικείμενο **Pump** της αντλίας No 1 και κάτω από το Static Text **ΕΝΔΕΙΞΗ ΒΛΑΒΗΣ** προστίθεται ένα αντικείμενο **Circle** το χρώμα του οποίου λειτουργεί σαν ένδειξη για την παρουσία βλάβης στην πρώτη αντλία του συστήματος.

Αναλυτικότερα επιλέγοντας το αντικείμενο και μεταβαίνοντας στο μενού **Colors** της καρτέλας **Properties** γίνεται δυναμική σύνδεση της ιδιότητας **Background Color** του αντικειμένου **Circle1** με την κατάσταση του tag **vlavh1**.

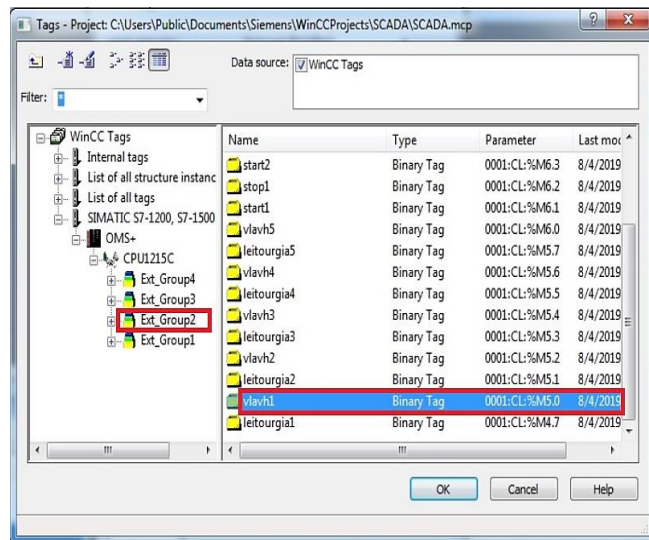


Εικόνα 171 Δυναμική αλλαγή της ιδιότητας Background Color του αντικειμένου Circle1 – εικόνα Pumps.Pdl

Και σε αυτή την περίπτωση αφού στο πεδίο **Expression/Formula** επιλεγεί η μεταβλητή **vlavh1** η οποία είναι επίσης τύπου **Boolean**, όταν η μεταβλητή βρεθεί σε κατάσταση λογικού 1 η ιδιότητα **Background Color** παίρνει χρώμα πορτοκαλί ενώ στην αντίθετη περίπτωση γκρι. Μέσω της συγκεκριμένης ένδειξης γίνεται αντιληπτή από τον χειριστή του SCADA παρουσία βλάβης στην αντλία No 1 του συστήματος. Η παραπάνω διαδικασία παρουσιάζεται στις εικόνες 172 και 173.



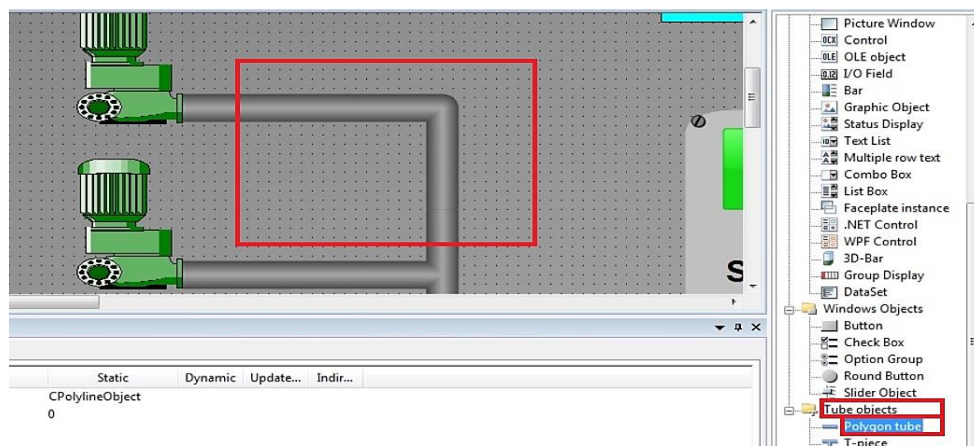
Εικόνα 172: Σύνδεση της μεταβλητής vlavh1 με την ιδιότητα Background Color – εικόνα Pumps.Pdl



Εικόνα 173: Επιλογή της μεταβλητής vlavh1 – εικόνα Pumps.Pdl

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την δημιουργία του αντικείμενου της αντλίας Νο 1 αλλά και της αντίστοιχης ένδειξης πιθανής βλάβης ακολουθήθηκε και για τις υπόλοιπες αντλίες του συστήματος.

Ακόμη για τη ρεαλιστική αναπαράσταση και οπτικοποίηση των δύο συστημάτων (τρίδυμο και δίδυμο) και την σύνδεση των αντλιών που αποτελούν τα αντίστοιχα συστήματα χρησιμοποιήθηκε από το μενού **Tube Objects** το αντικείμενο **Polygon Tube**.



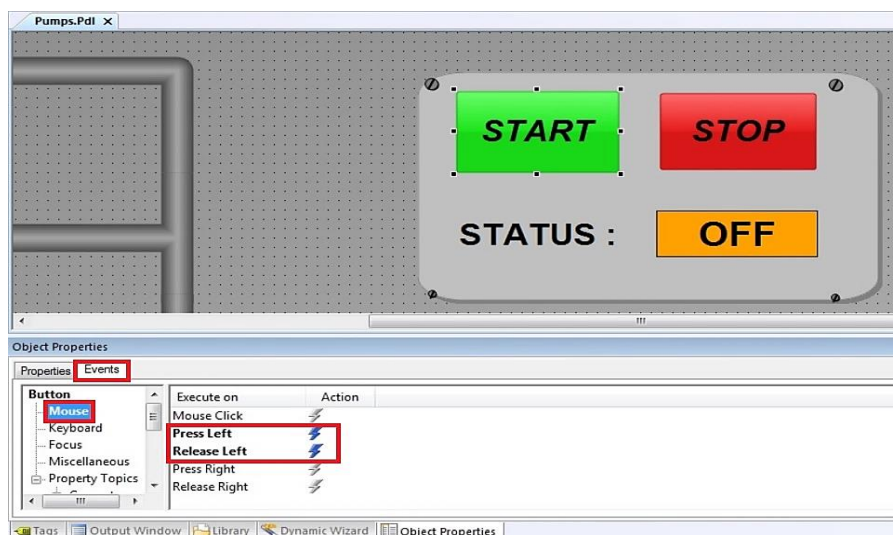
Εικόνα 174: Επιλογή αντικείμενου Polygon Tube – εικόνα Pumps.Pdl

Κλείνοντας την παρουσίαση της εικόνας **Pumps.Pdl** όπως είχε αναφερθεί και στα κεφάλαια 5 και 6 μέσα από τη συγκεκριμένη εικόνα δίνεται η δυνατότητα στον χειριστή του συστήματος SCADA να εκτελεί λειτουργίες απομακρυσμένου ελέγχου ON/OFF σε κάθε σύστημα ξεχωριστά.

Έτσι αρχικά για το **τρίδυμο σύστημα** η επίτευξη του απομακρυσμένου ελέγχου δημιουργήθηκε με το ακόλουθο γκρουπ αντικείμενων το οποίο αποτελείται από ένα

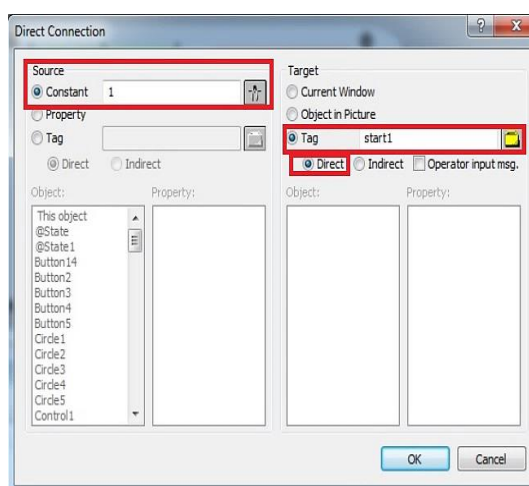
πλαίσιο το οποίο περιέχει 2 αντικείμενα **Button** ένα **Static Text** και ένα αντικείμενο **Text List**.

Το πρώτο button εκτελεί τη διαδικασία ON και ονομάζεται **START**. Αρχικά επιλέγοντας την καρτέλα **Events** και στη συνέχεια το μενού **Mouse** εμφανίζεται ένα πλαίσιο ενεργειών.

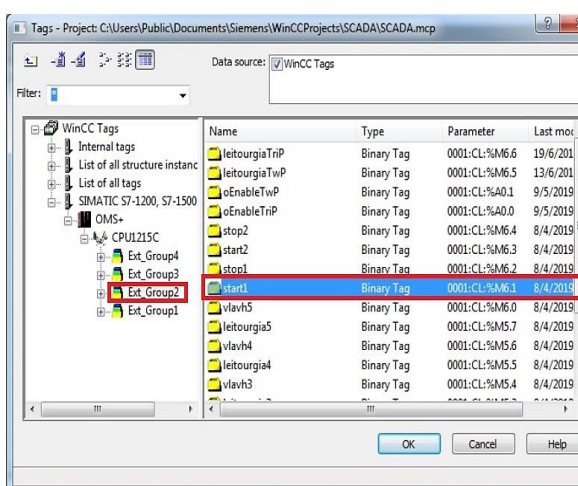


Εικόνα 175: Button START για το τρίδυμο σύστημα – εικόνα Pumps.Pdl

Η πρώτη ενέργεια (action) που ρυθμίζεται αφορά το πάτημα του αριστερού κλικ του ποντικιού. Έτσι επιλέγοντας **Press Left** εμφανίζεται το παράθυρο της εικόνας 176. Στο αριστερό μέρος του παραθύρου που αναφέρεται ως **Source** επιλέγεται το πεδίο **Constant** και δίνεται σε αυτό η τιμή **1**. Η τιμή αυτή μεταβιβάζεται στο διπλανό μέρος της εικόνας που ονομάζεται **Target** με άμεσο τρόπο (**Direct**) στη μεταβλητή (**Tag**) **start1** η οποία επιλέγεται από το γκρουπ μεταβλητών **Ext_Group2** όπως φαίνεται στην εικόνα 177.

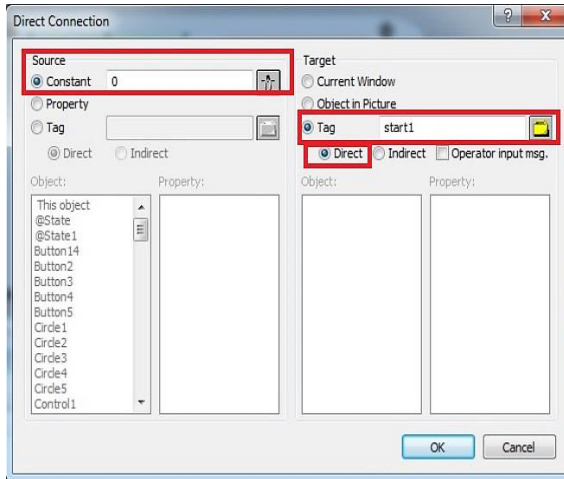


Εικόνα 176: Καθορισμός της ενέργειας Press Left – Pumps.Pdl

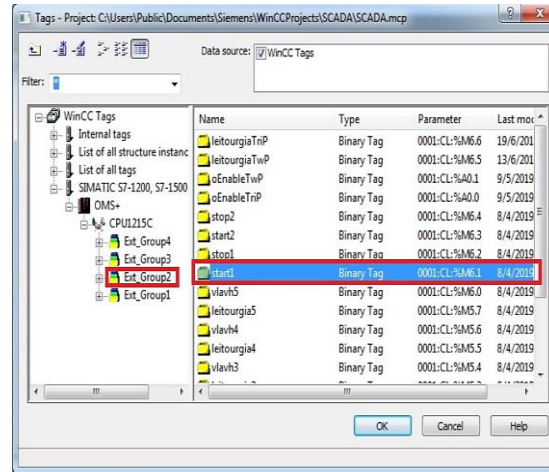


Εικόνα 177: Επιλογή μεταβλητής start1 (Press Left) – Pumps.Pdl

Αντίθετα η επιλογή της ενέργειας **Release Left** ακολουθεί παρόμοια λογική και ορίζεται στην εικόνα 178.

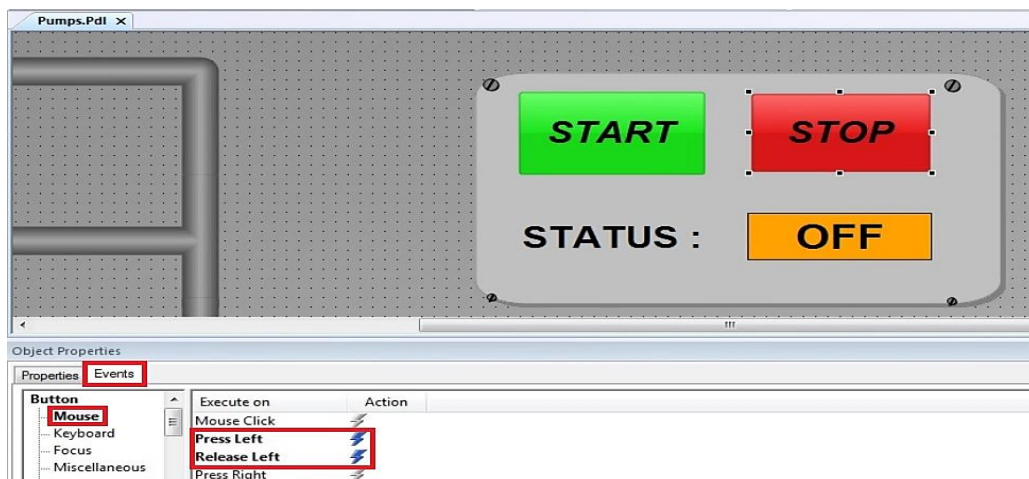


Εικόνα 178: Καθορισμός της ενέργειας Release Left – Pumps.Pdl

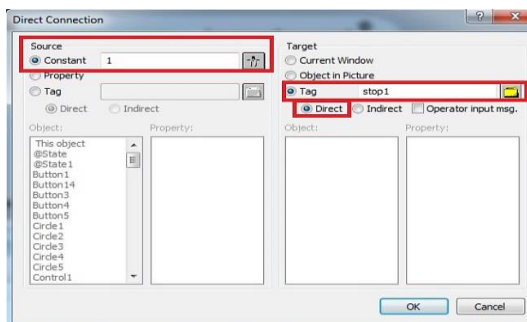


Εικόνα 179: Επιλογή μεταβλητής start1 (Release Left) – Pumps.Pdl

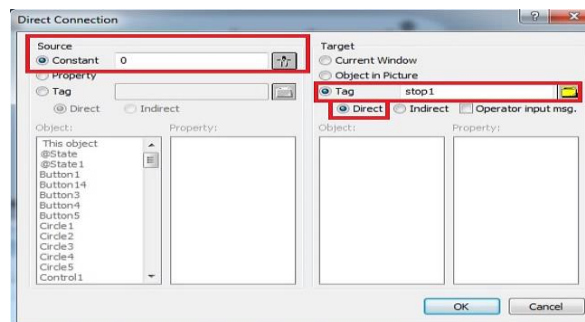
Το δεύτερο button του γκρουπ ονομάζεται **STOP** και η διαδικασία δημιουργίας και ορισμού του συγκεκριμένου αντικειμένου είναι η ίδια με του button **START** με την διαφορά ότι τώρα η ενέργεια **Press Left** μεταβιβάζει τη λογική τιμή 1 στη μεταβλητή **stop1** και η ενέργεια **Release Left** τη λογική τιμή 0 στη συγκεκριμένη μεταβλητή. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στις ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 180: Button STOP για το τρίδυμο σύστημα – εικόνα Pumps.Pdl



Εικόνα 181: Καθορισμός της ενέργειας Press Left του button STOP – Pumps.Pdl

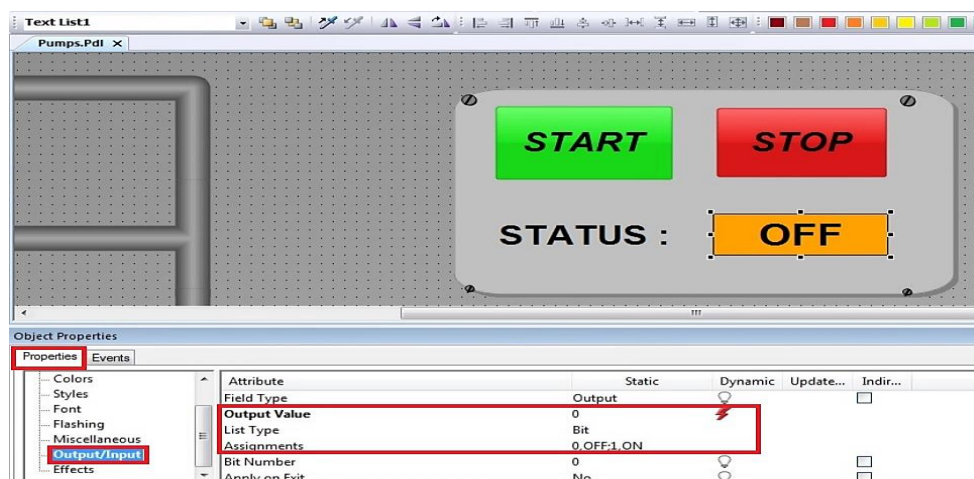


Εικόνα 182: Καθορισμός της ενέργειας Release Left του button STOP – Pumps.Pdl

Συνοψίζοντας η διαδικασία λειτουργίας των δύο buttons έχει ως εξής. Κάνοντας αριστερό κλικ στο button START το tag start1 παίρνει την τιμή του λογικού 1 και δημιουργείται ο θετικός παλμός για την εκκίνηση του τρίδymου συστήματος. Αντίθετα μόλις ο χειριστής κάνει αριστερό κλικ στο button STOP το tag stop1 παίρνει την τιμή του λογικού 1 και η λειτουργία του τρίδymου συστήματος διακόπτεται.

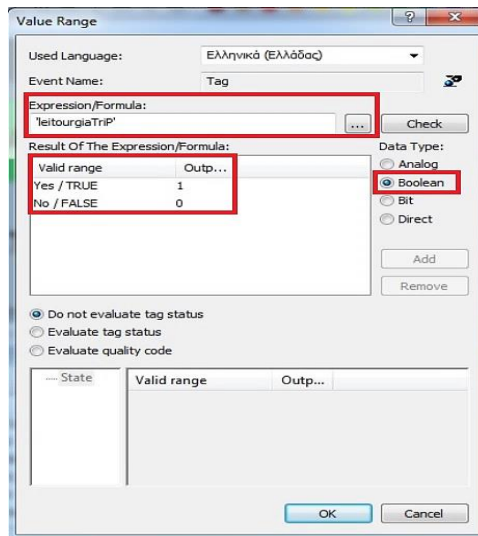
Το τελευταίο αντικείμενο του γκρουπ αντικειμένων που έχουν να κάνουν με τον απομακρυσμένο έλεγχο του **τρίδymου συστήματος** είναι το **Text List1** το οποίο παρουσιάζει την τρέχουσα κατάσταση που βρίσκεται το τρίδymο σύστημα αντλιών.

Η επιλογή του αντικειμένου **Text List** γίνεται από τη λίστα **Smart Objects** και ο ορισμός του μέσα από την καρτέλα **Properties** και το μενού **Output/Input**. Τα πεδία που ορίζονται μέσα από το συγκεκριμένο μενού είναι το List Type που ορίζεται ως **Bit** και το πεδίο Assignments που αντιστοιχεί την δυαδική τιμή **0** στην κατάσταση **OFF** και την δυαδική τιμή **1** στην κατάσταση **ON**. Η σύνδεση της τιμής που εμφανίζεται στο **Text List** (ON η OFF) με την κατάσταση της μεταβλητής **leitourgiaTriP** γίνεται δυναμικά από το πεδίο **Output Value**.

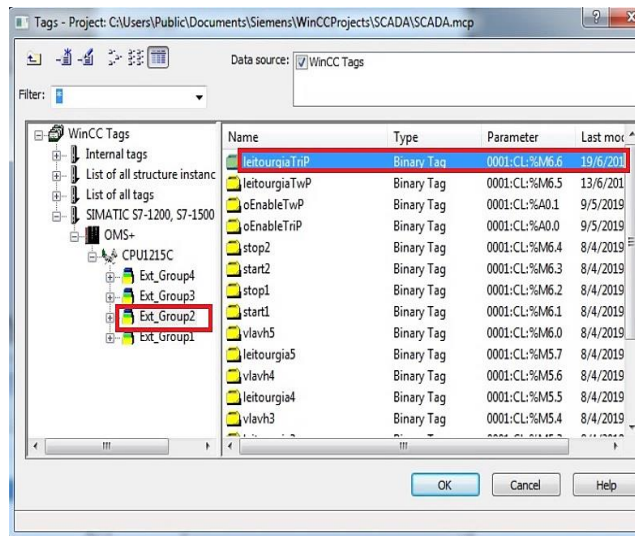


Εικόνα 183: Δημιουργία Text List – Pumps.Pdl

Μέσω της γνωστής πλέον διαδικασίας στις εικόνες 184 και 185 γίνεται ο καθορισμός της λειτουργίας του **Text List1** και η σύνδεσή του περιεχόμενου που θα εμφανίζει με την κατάσταση της μεταβλητής **leitourgiaTriP**.



Εικόνα 184: Σύνδεση της μεταβλητής leitourgiaTriP με την έξοδο του Test List1 – Pumps.Pdl



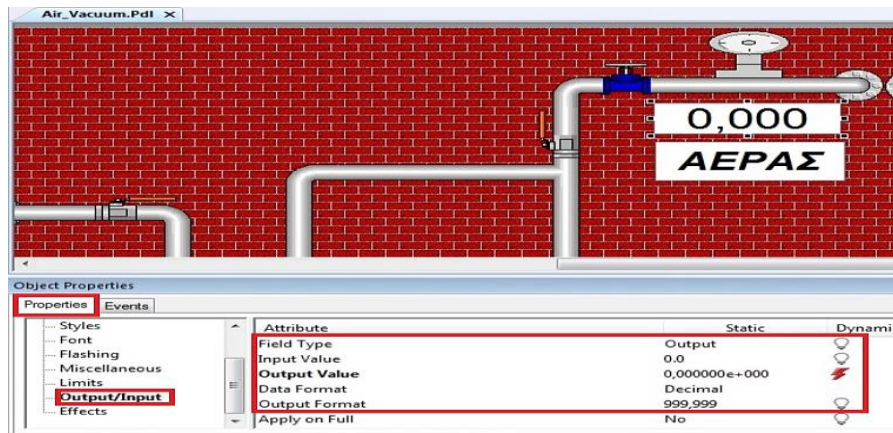
Εικόνα 185: Επιλογή της μεταβλητής leitourgiaTriP – Pumps.Pdl

Η ίδια διαδικασία που περιεγράφηκε παραπάνω ακολουθήθηκε και για τον απομακρυσμένο έλεγχο του δίδυμου συστήματος.

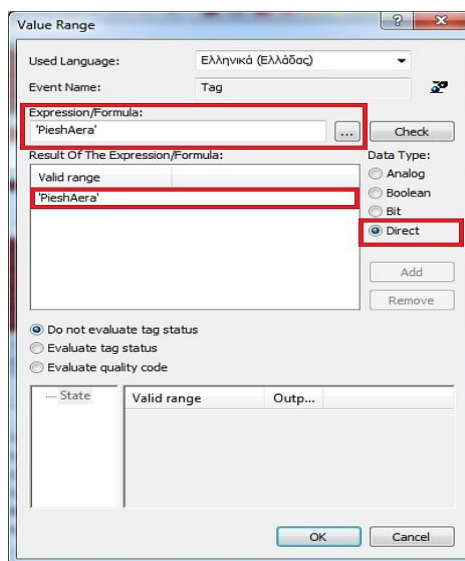
7.4.5 Εικόνα κεντρικού δικτύου πεπιεσμένου αέρα και κενού –Air-Vacuum.Pdl

Στην παρούσα υποενότητα αναλύονται τα στοιχεία που απαρτίζουν την εικόνα **Air-Vacuum.Pdl** και αναπαριστούν το κεντρικό δίκτυο πεπιεσμένου αέρα και κενού του εργοστασίου καθώς και τον εξοπλισμό που το υποστηρίζει. Στη συγκεκριμένη εικόνα έγινε προσπάθεια πιστής αναπαράστασης των πραγματικών στοιχείων του δικτύου όπως είναι εμφανές στις εικόνες 42 και 43του κεφαλαίου 5. Για το σκοπό αυτό έγινε μία σειρά επιλογής αντικειμένων από διάφορους φακέλους της βιβλιοθήκης **Siemens HMI Symbol Library 1.4.1** η οποία περιέχει αντικείμενα διάφορων κατηγοριών.

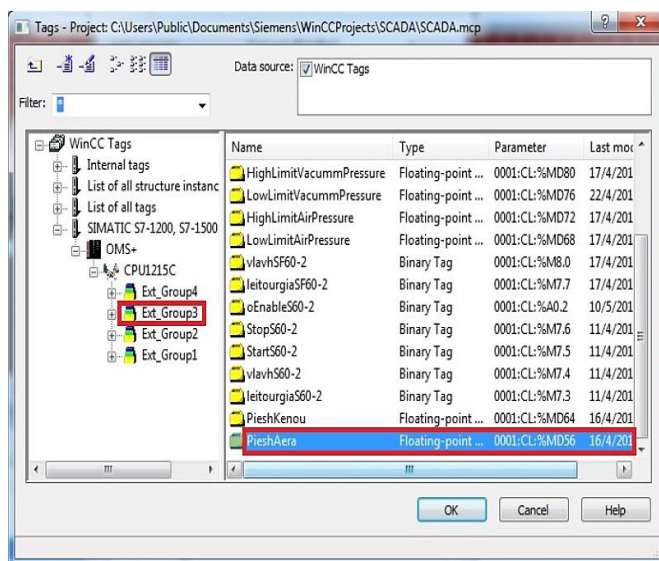
Βασικά στοιχεία της εικόνας **Air-Vacuum.Pdl** αποτελούν τα δύο **I/O Field** μέσα στα οποία εμφανίζονται οι τιμές της πίεσης του κεντρικού δικτύου παροχής αέρα και κενού αντίστοιχα. Ξεκινώντας με το **I/O Field** που εμφανίζει την πίεση του αέρα και σύμφωνα με τα όσα έχουν αναφερθεί για τη δημιουργία των συγκεκριμένων objects από την καρτέλα **Properties** και το μενού **Output/Input** καθορίζονται τα κύρια πεδία του αντικειμένου. Αναλυτικά στο πεδίο **Data Format** δίνεται η τιμή **Decimal** αφού η τιμή αναπαράστασης των δεδομένων έχει δεκαδική μορφή και το πεδίο **Field Type** ορίζεται σαν **Output**. Επίσης μέσω του πεδίου **Output Value** γίνεται δυναμικά η σύνδεση της τιμής που θα προβάλλεται στο συγκεκριμένο αντικείμενο με τη μεταβλητή **PieshAera** όπως παρουσιάζεται στις ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 186: Δημιουργία I/O Field για την πίεση του αέρα – Air-Vacuum.Pdl

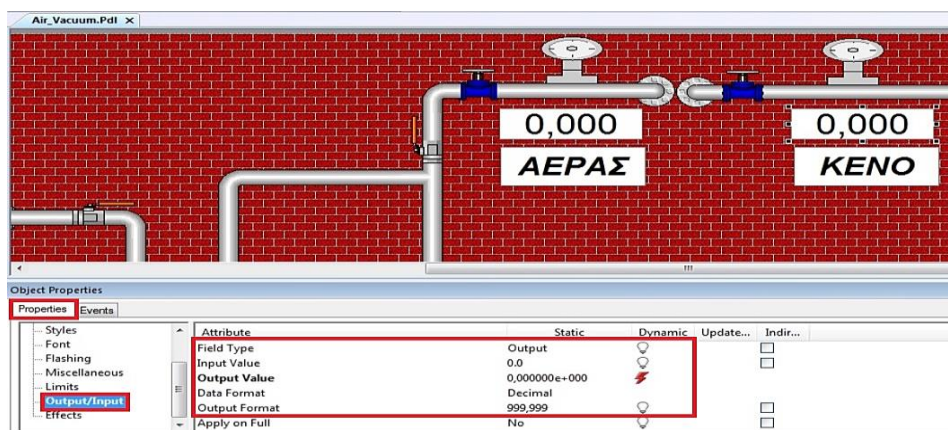


Εικόνα 187 Διαμόρφωση I/O Field (αέρα) – Air-Vacuum.Pdl

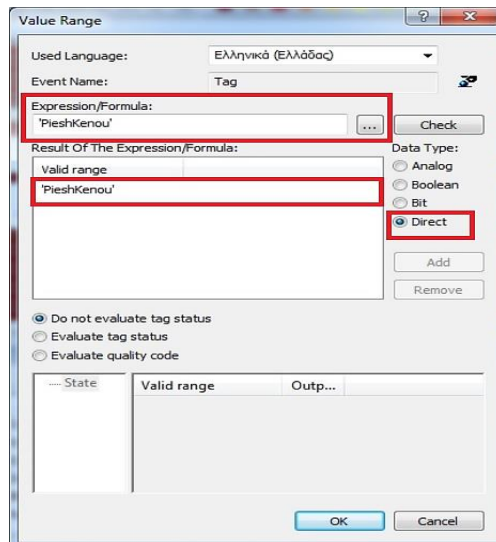


Εικόνα 188: Σύνδεση της μεταβλητής PieshAera με το I/O Field (αέρα) – Air-Vacuum.Pdl

Τα ίδια βήματα ακολουθούνται και για τη δημιουργία και τον καθορισμό της λειτουργίας του **I/O Field** που εμφανίζει την τιμή του κενού.



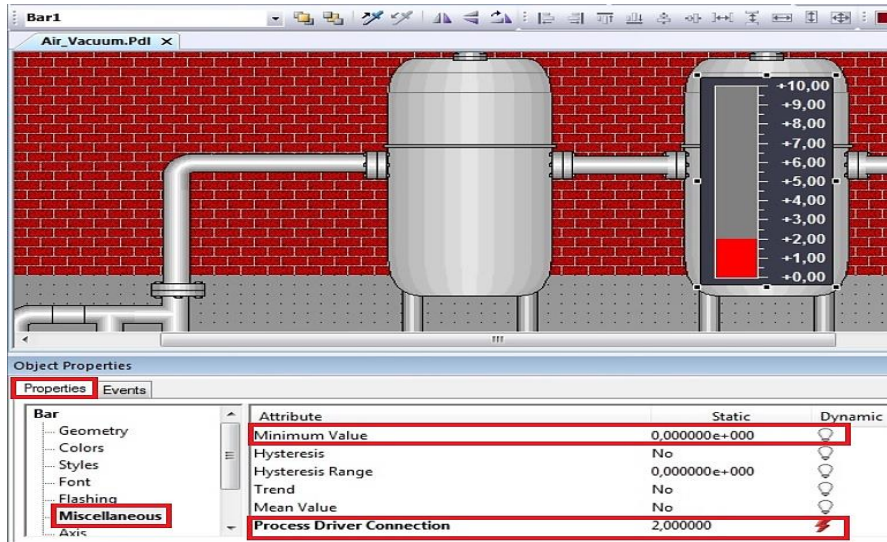
Εικόνα 189: Δημιουργία I/O Field για την μέτρηση του κενού – Air-Vacuum.Pdl



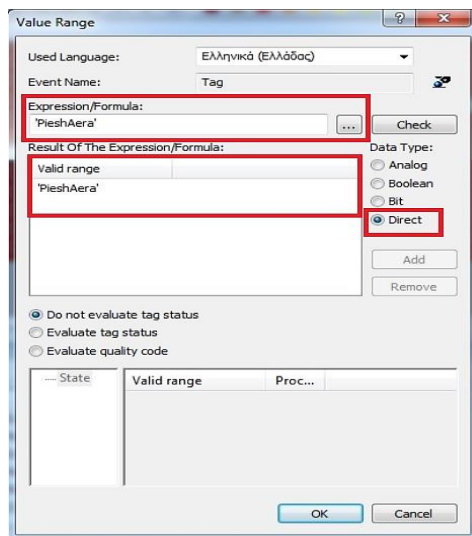
Εικόνα 190: Διαμόρφωση I/O Field (κενού) – Air-Vacuum.Pdl

Στη συνέχεια πέραν το 2 **I/O Field** που δημιουργήθηκαν για την καλύτερη και ευκολότερη επόπτευση του συστήματος επιλέχθηκαν 2 αντικείμενα τύπου **Bar** τα οποία τοποθετήθηκαν χωρικά πάνω στα δοχεία διαστολής του συστήματος αέρα και κενού αντίστοιχα. Τα αντικείμενα αυτά πέραν της παρουσίασης των αντίστοιχων τιμών των μεγεθών με τη μορφή μπάρας επιτρέπουν και τον καθορισμό ορίων τα οποία όταν ξεπερνιούνται αλλάζουν κάποιες ιδιότητες των αντικειμένων (μπάρες) όπως στην παρούσα περίπτωση το χρώμα της μπάρας που αναπαριστά το μέγεθος της μετρούμενης τιμής.

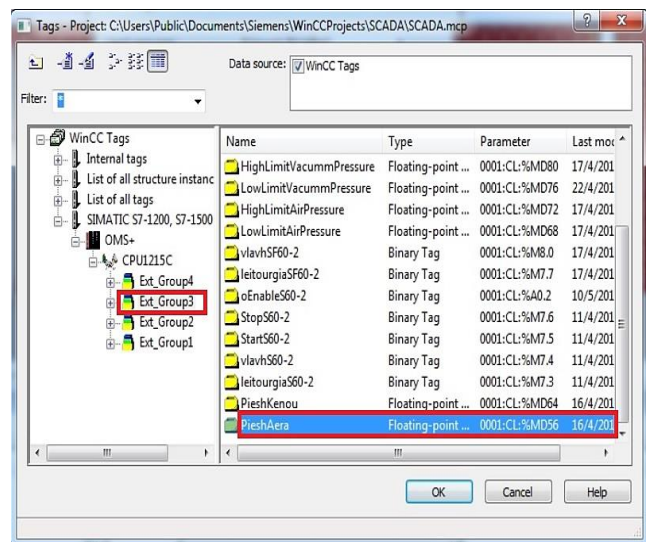
Για την περίπτωση της τιμής του πεπιεσμένου αέρα από τη λίστα **Smart Objects** επιλέχθηκε το αντικείμενο **Bar**. Στη συνέχεια από την καρτέλα **Properties** γίνεται μετάβαση στην επιλογή **Miscellaneous** και από εκεί καθορίζονται τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου αντικειμένου. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πεδίο **Minimum Value** λαμβάνει την τιμή **0** ενώ το πεδίο **Maximum Value** λαμβάνει την τιμή **10**. Επιπλέον μέσω του πεδίου **Process Driver Connection** συνδέεται δυναμικά η τρέχουσα τιμή της μεταβλητής **PieshAera** με το μέγεθος της μπάρας. Οι εικόνες 191 έως 193 αποσαφηνίζουν τη διαδικασία.



Εικόνα 191: Διαμόρφωση αντικειμένου Bar1 (αέρας) – Air-Vacuum.Pdl

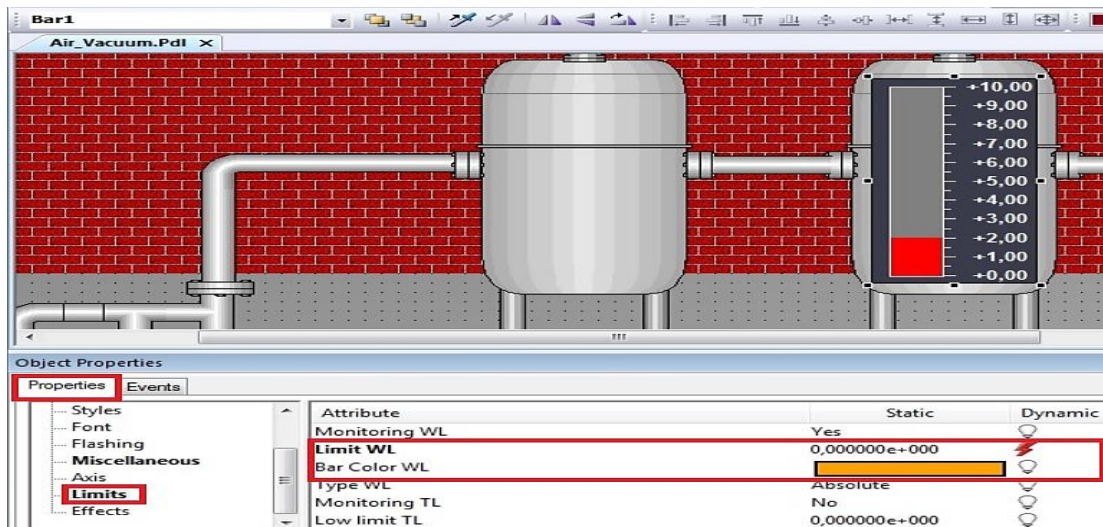


Εικόνα 192: Σύνδεση αντικειμένου Bar1 με τη μεταβλητή PieshAera (αέρας) – Air-Vacuum.Pdl

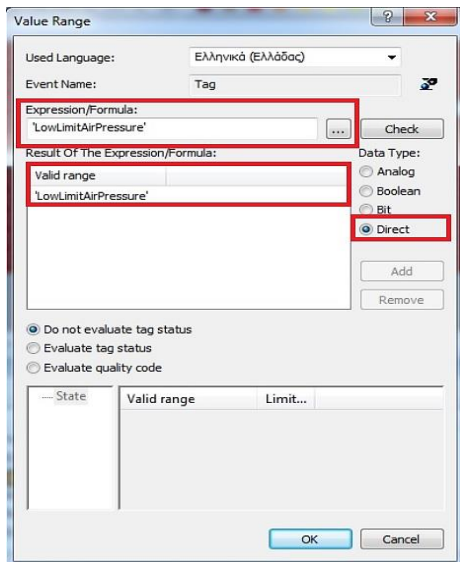


Εικόνα 193: Αναζήτηση μεταβλητής PieshAera από το Ext_Group3 – Air-Vacuum.Pdl

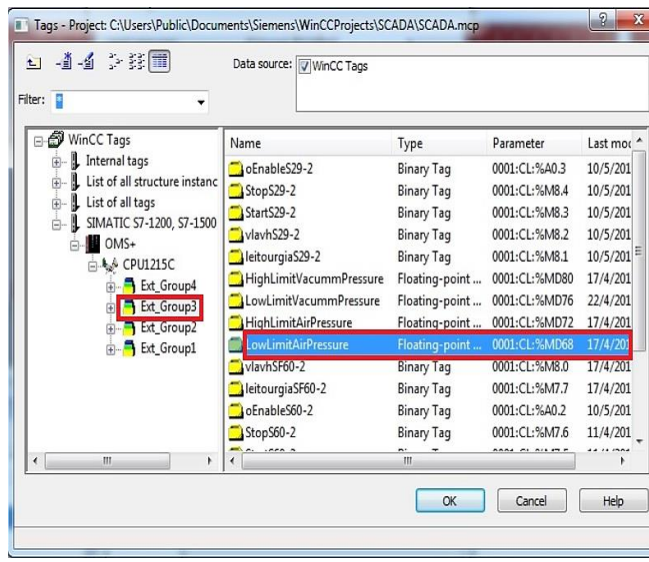
Ακολουθώντας μέσω του μενού **Limits** καθορίζονται τα όρια προειδοποίησης των τιμών της μεταβλητής **PieshAera**. Έτσι αρχικά το κάτω όριο προειδοποίησης συνδέεται δυναμικά με τη μεταβλητή **LowLimitAirPressure** μέσω του πεδίου **Limit WL** ενώ το χρώμα που θα έχει η μπάρα για τιμές της μεταβλητής **PieshAera** χαμηλότερες αυτού του ορίου είναι το **πορτοκαλί**. Οι ακόλουθες εικόνες παρουσιάζουν την συγκεκριμένη διαδικασία.



Εικόνα 194: Διαμόρφωση WL αντικειμένου Bar1 (αέρας) – Air-Vacuum.Pdl

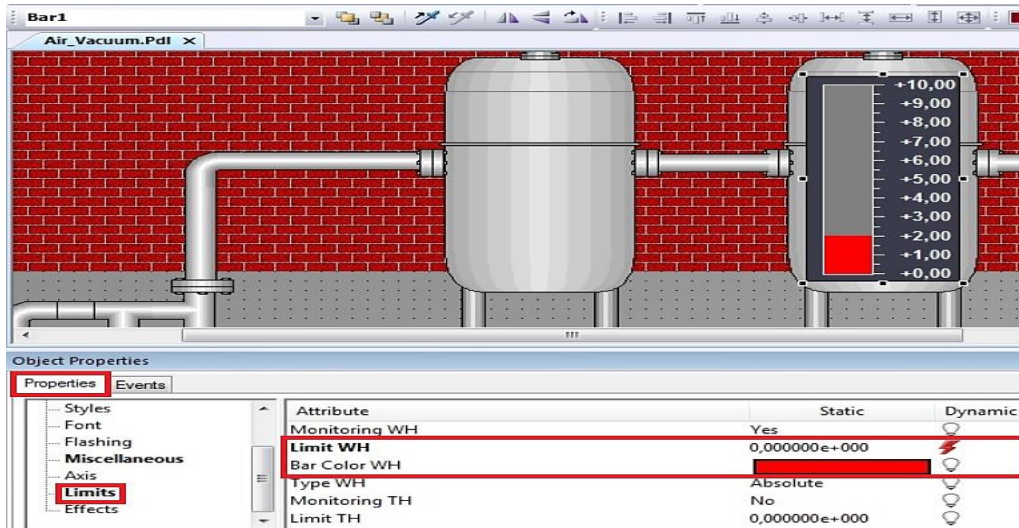


Εικόνα 195: Σύνδεση WL με τη μεταβλητή LowLimitAirPressure – Air-Vacuum.Pdl

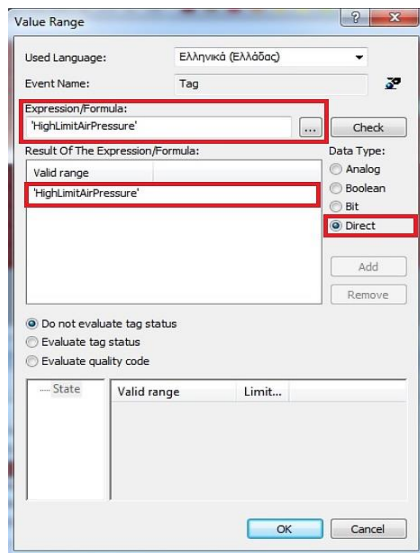


Εικόνα 196: Αναζήτηση της μεταβλητής LowLimitAirPressure – Air-Vacuum.Pdl

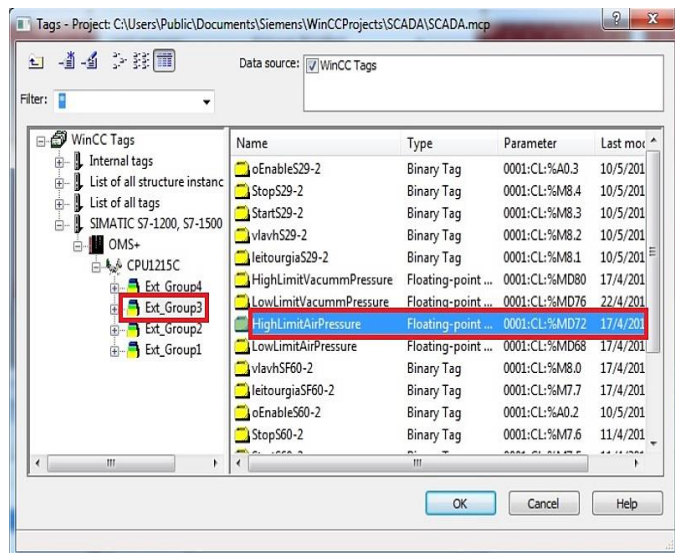
Αντίστοιχα το άνω όριο προειδοποίησης συνδέεται δυναμικά με τη μεταβλητή **HighLimitAirPressure** μέσω του πεδίου **Limit WH** ενώ το χρώμα που θα έχει η μπάρα για τιμές της μεταβλητής **PieshAera** μεγαλύτερες αυτού του ορίου είναι το **κόκκινο**.



Εικόνα 197: Διαμόρφωση WH αντικειμένου Bar1 (αέρας) – Air-Vacuum.Pdl

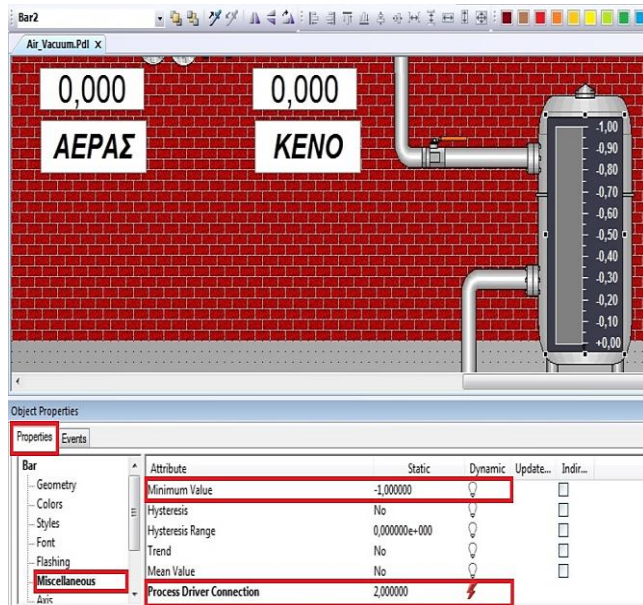


Εικόνα 198: Σύνδεση WH με τη μεταβλητή HighLimitAirPressure – Air-Vacuum.Pdl

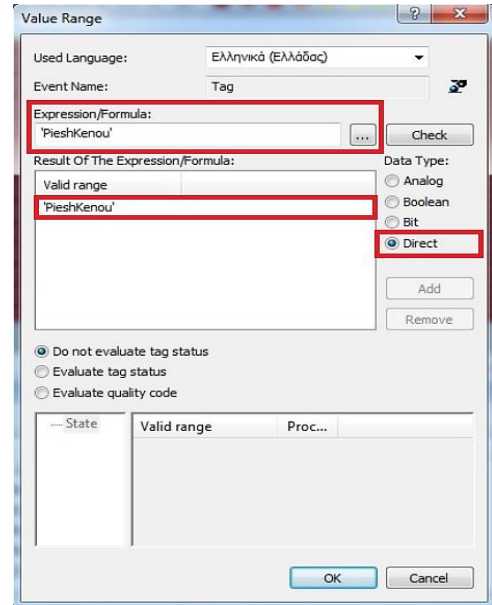


Εικόνα 199: Αναζήτηση της μεταβλητής HighLimitAirPressure – Air-Vacuum.Pdl

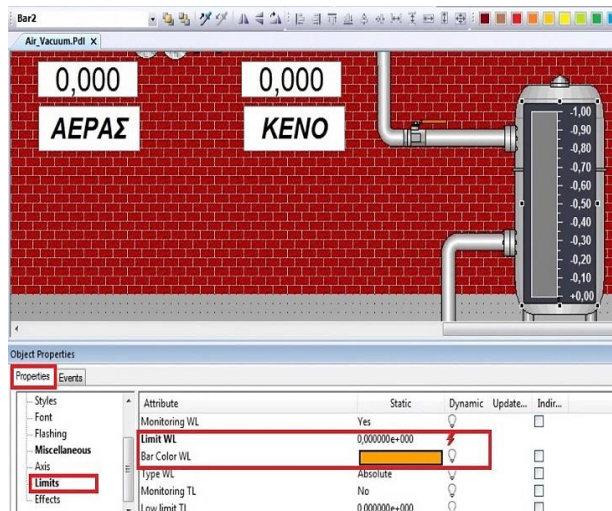
Η διαδικασία που ακολουθήθηκε παραπάνω για δημιουργία του αντικειμένου **Bar** και τον καθορισμό των **WL** και **WH** ακολουθήθηκε και για την περίπτωση της μπάρας που αναπαριστά την τιμή του κενού. Ενδεικτικά για λόγους συντομίας και επαναληψιμότητας για την περίπτωση του κενού παρουσιάζονται οι ακόλουθες εικόνες.



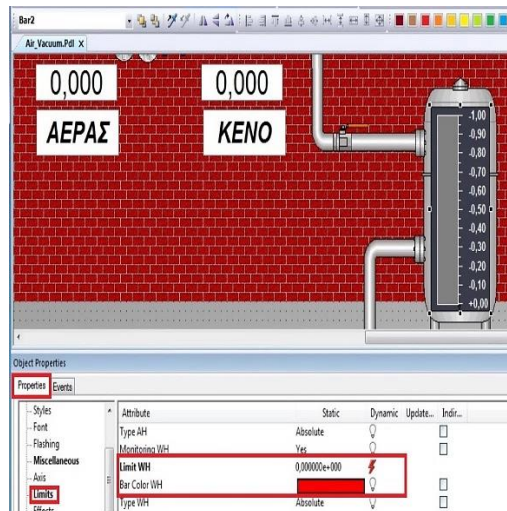
Εικόνα 200: Διαμόρφωση αντικειμένου Bar2 (κενό) – Air-Vacuum.Pdl



Εικόνα 201: Σύνδεση αντικειμένου Bar2 με τη μεταβλητή PieshKenou (κενό) – Air-Vacuum.Pdl



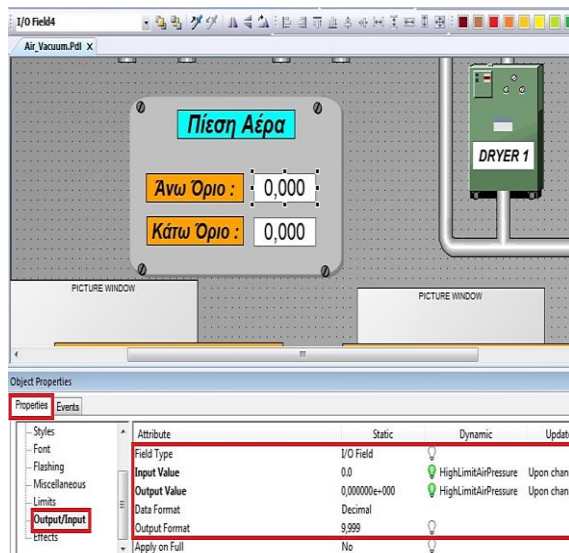
Εικόνα 202: Διαμόρφωση WL αντικειμένου Bar2 (κενό) – Air-Vacuum.Pdl



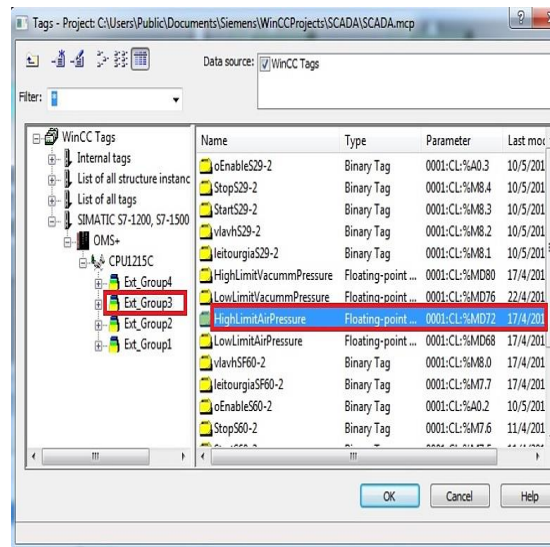
Εικόνα 203: Διαμόρφωση WH αντικειμένου Bar2 (κενό) – Air-Vacuum.Pdl

Δύο επιπλέον στοιχεία που περιέχονται στην εικόνα **Air-Vacuum.Pdl** είναι δύο γκρουπ αντικειμένων, μέσω των οποίων δίνεται η δυνατότητα στον χειριστή δυναμικής μεταβολής των ορίων προειδοποίησης για τις τιμές του αέρα και του κενού αντίστοιχα. Κάθε γκρουπ αποτελείται από 3 **Static Texts** και 2 **I/O Field**.

Ξεκινώντας με την περίπτωση του αέρα δίπλα από το **Static Text Άνω Όριο** δημιουργείται το πρώτο **I/O Field** του συγκεκριμένου γκρουπ, από το οποίο μέσω της καρτέλας **Properties** και του μενού **Output/Input** ορίζονται οι ιδιότητες του. Όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 204 το πεδίο **Field Type** ορίζεται ως **I/O Field**, μίας και μέσω αυτού είναι επιθυμητή τόσο η εμφάνιση όσο και η τροποποίηση της τιμής της μεταβλητής **HighLimitAirPressure**, και το πεδίο **Data Format** ως **Decimal**. Επιπλέον τα πεδία **Input Value** και **Output Value** συνδέονται με τη μεταβλητή **HighLimitAirPressure** η τιμή της οποίας εμφανίζεται στα πεδία αυτά.

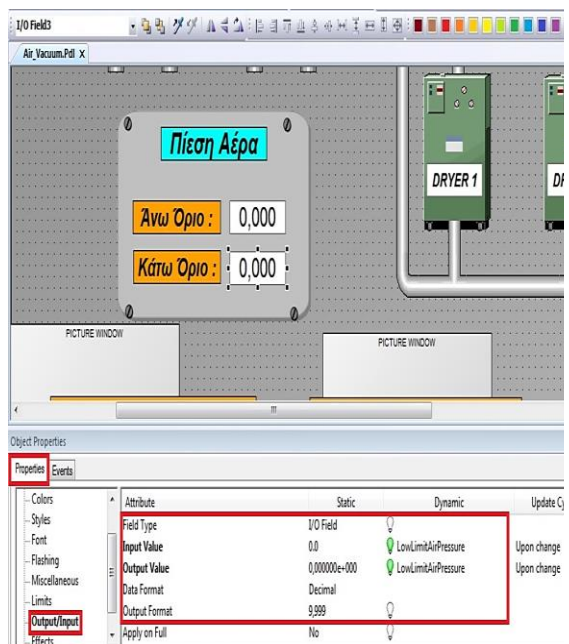


Εικόνα 204: Διαμόρφωση του I/O Field για το άνω όριο του αέρα – Air-Vacuum.Pdl

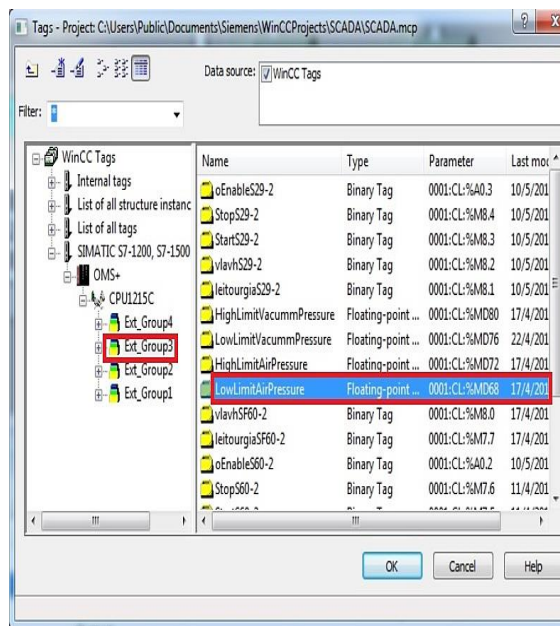


Εικόνα 205: Σύνδεση της μεταβλητής HighLimitAirPressure με το άνω όριο του αέρα – Air-Vacuum.Pdl

Η διαδικασία είναι αντίστοιχη και για το **I/O Field** μέσω το οποίου μεταβάλλεται δυναμικά η τιμή του κάτω ορίου προειδοποίησης για την πίεση του αέρα.

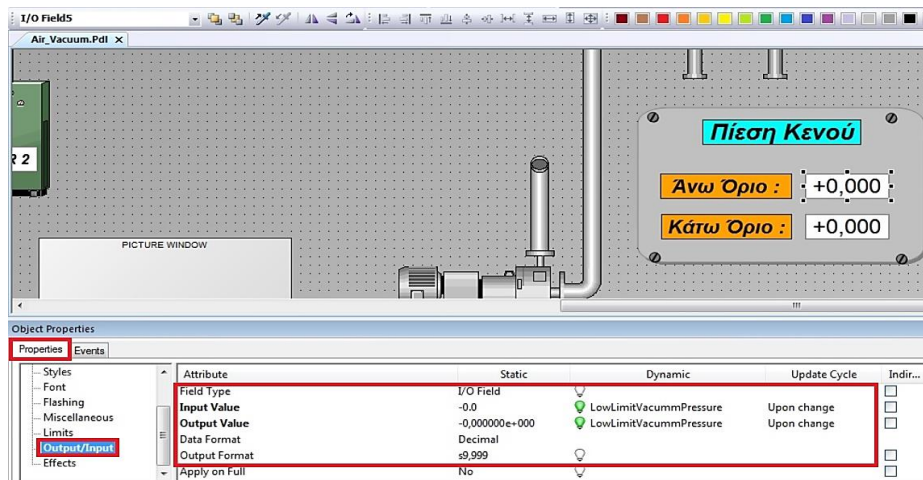


Εικόνα 206: Διαμόρφωση του I/O Field για το κάτω όριο του αέρα – Air-Vacuum.Pdl

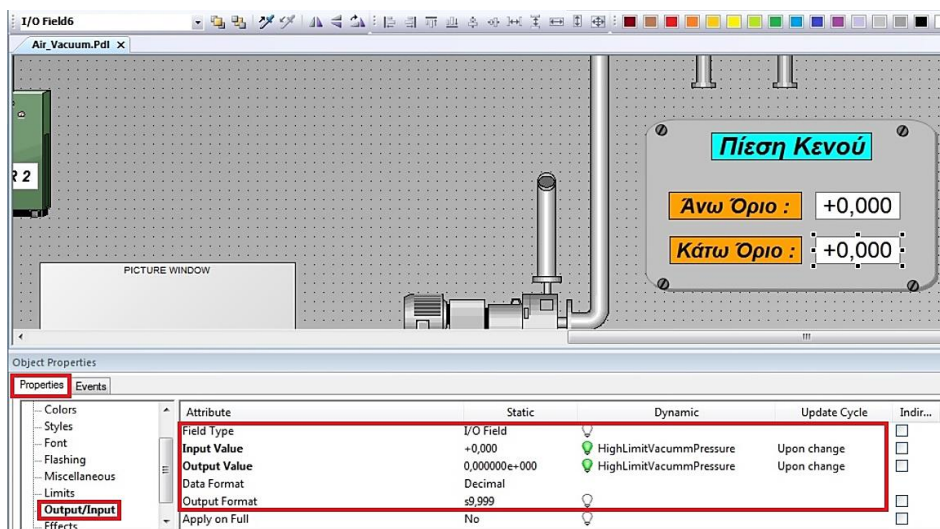


Εικόνα 207: Σύνδεση της μεταβλητής LowLimitAirPressure με το κάτω όριο του αέρα – Air-Vacuum.Pdl

Το γκρουπ αντικειμένων που αφορά την παραμετροποίηση των ορίων προειδοποίησης του κενού ακολουθεί την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε για των καθορισμό των ορίων του αέρα. Η μόνη παρατήρηση που αξίζει να σημειωθεί είναι ότι κατά τη διαμόρφωση των δύο **I/O Field** στο πεδίο **Output Format** γίνεται εκχώρηση της τιμής s9,999 (όπου s = sign) ώστε να δίνεται η δυνατότητα εγγραφής στο συγκεκριμένο **I/O Field** αρνητικών τιμών. Αφού τα όρια της τιμής του κενού κυμαίνονται από -1 έως 0.



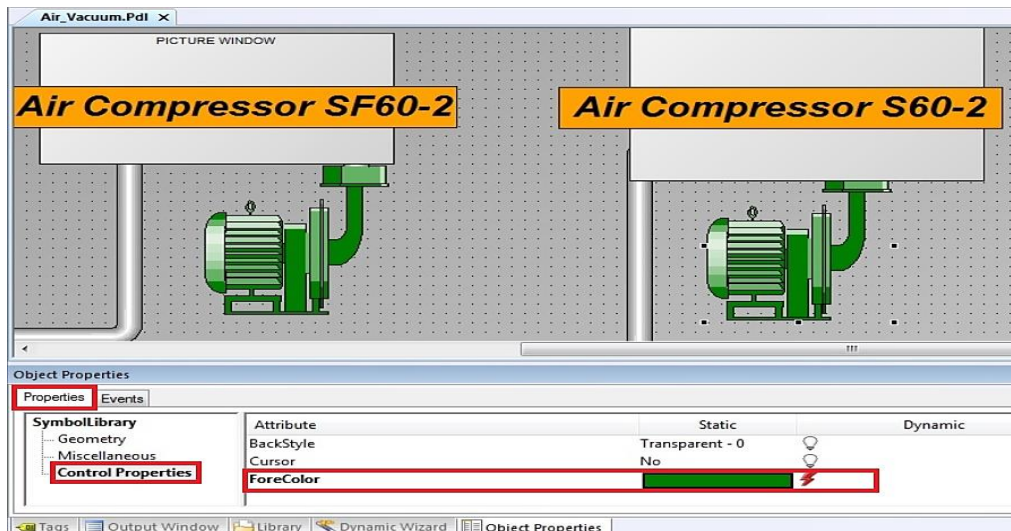
Εικόνα 208: Διαμόρφωση του I/O Field για το άνω όριο του κενού – Air-Vacuum.Pdl



Εικόνα 209: Διαμόρφωση του I/O Field για το κάτω όριο του κενού – Air-Vacuum.Pdl

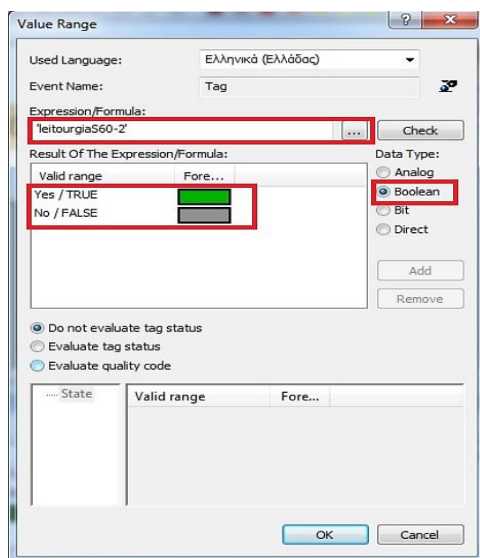
Τα τελευταία αντικείμενα της εικόνας **Air-Vacuum.Pdl** έχουν να κάνουν με τους αεροσυμπιεστές του δικτύου. Συγκεκριμένα κάθε στοιχείο αεροσυμπιεστή συνδέει την ιδιότητα **Fore Color** με την κατάσταση της μεταβλητής λειτουργίας του, όπως επίσης και για κάθε αεροσυμπιεστή του συστήματος αντιστοιχεί ένα **Picture Window** μέσω του οποίου δίνεται η δυνατότητα λεπτομερέστερης παρακολούθησης του στοιχείου αλλά και απομακρυσμένου χειρισμού για τους δύο εξ αυτών.

Συγκεκριμένα για τον πρώτο αεροσυμπιεστή του συστήματος **S60-2** αρχικά επιλέγεται η καρτέλα **Properties** και στη συνέχεια το μενού **Control Properties**. Στο σημείο αυτό γίνεται διαμόρφωση της ιδιότητας **Forecolor** έτσι ώστε αυτή να μεταβάλλεται δυναμικά ανάλογα με την κατάσταση της μεταβλητής **leitourgiaS60-2**.

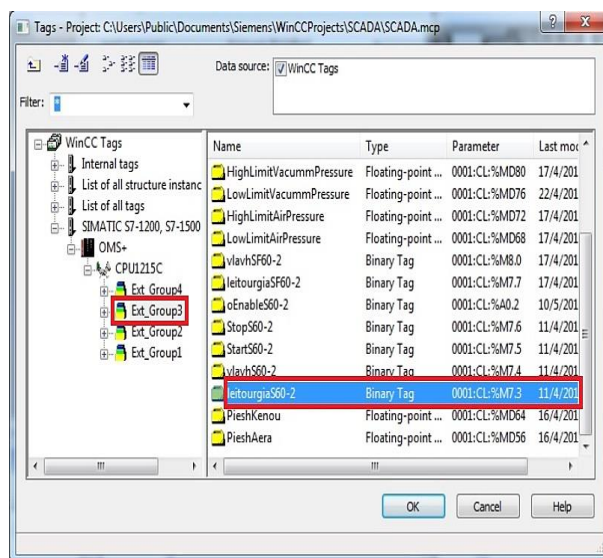


Εικόνα 210: Διαμόρφωση της ιδιότητας Fore Color για τον αεροσυμπιεστή S60-2 – Air-Vacuum.Pdl

Έτσι από το αναδυόμενο παράθυρο της εικόνας 211 στο πεδίο **Expression/Formula** καταχωρείται η μεταβλητή **leitourgiaS60-2** η οποία είναι τύπου **Boolean** και όταν η κατάσταση της συγκεκριμένης μεταβλητής είναι το λογικό 1 (TRUE) η ιδιότητα **Forecolor** παίρνει το χρώμα πράσινο, ενώ στην αντίθετη περίπτωση το χρώμα γκρι.

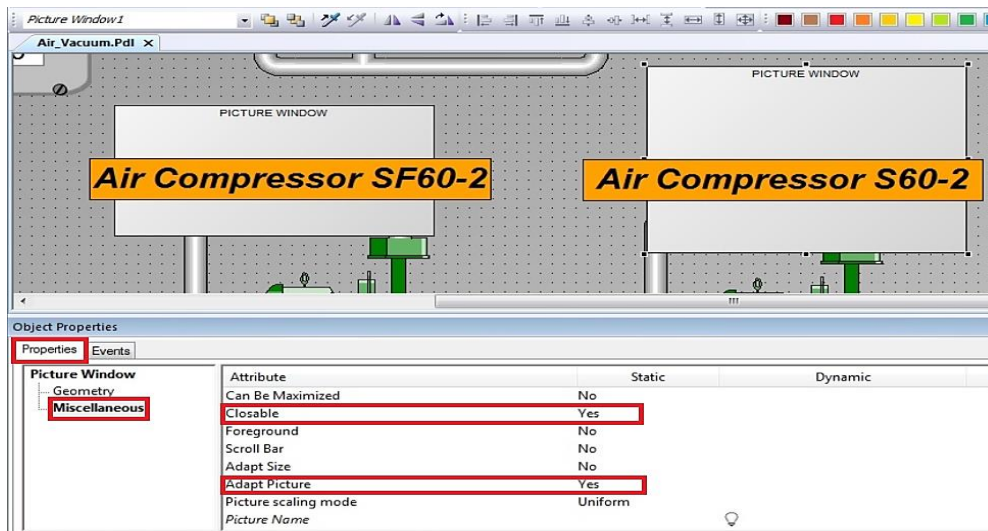


Εικόνα 211: Σύνδεση της μεταβλητής leitourgiaS60-2 με την ιδιότητας Fore Color (S60-2) – Air-Vacuum.Pdl



Εικόνα 212: Αναζήτηση της μεταβλητής leitourgiaS60-2 – Air-Vacuum.Pdl

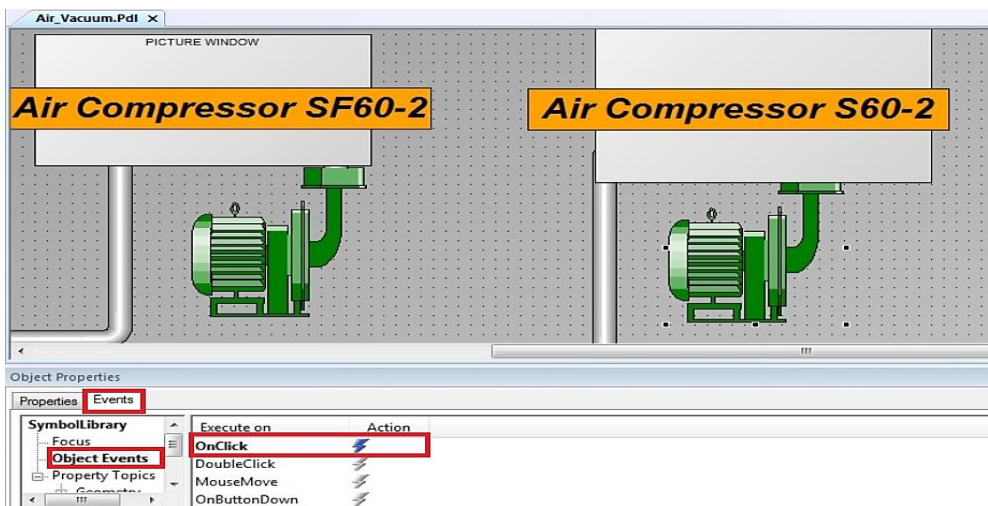
Επιπλέον για τον αεροσυμπιεστή **S60-2** όπως αναφέρθηκε προηγούμενος δημιουργήθηκε ένα **Picture Window** η διαμόρφωση του οποίου φαίνεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 213: Picture Window για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του S60-2 – Air-Vacuum.Pdl

Στη διαμόρφωση της εικόνας **Air-Vacuum.Pdl** κάνοντας κλικ πάνω σε κάθε αντικείμενο αεροσυμπιεστή εμφανίζεται το αντίστοιχο **Picture Window** μέσω των οποίων γίνεται ο απομακρυσμένος έλεγχος σου 2 εξ αυτών. Οι ακόλουθες εικόνες παρουσιάζουν αυτή τη διαδικασία για τον αεροσυμπιεστή S60-2.

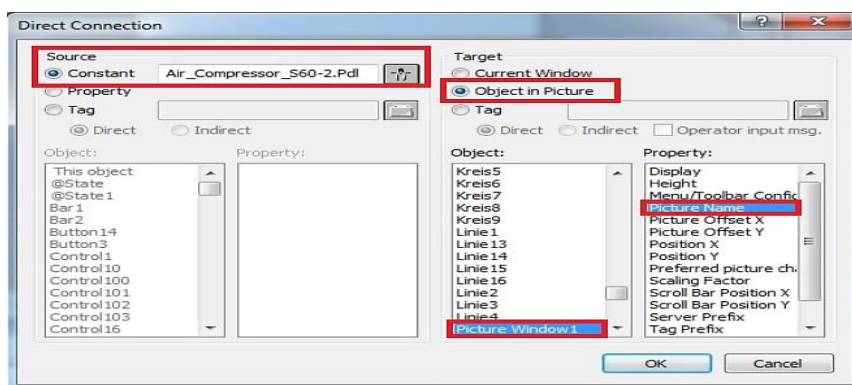
Από την καρτέλα **Events** του συγκεκριμένου αντικείμενου γίνεται μετάβαση στο μενού **Object Events**. Στο σημείο αυτό καθορίζεται μία ενέργεια σύμφωνα με την οποία κάνοντας κλικ επάνω στο αντικείμενο εμφανίζεται το **Picture Window** που ορίστηκε προηγουμένως. Για την ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας επιλέγεται το πεδίο **OnClick**.



Εικόνα 214: Καθορισμός ενέργειας για την επιλογή του S60-2 – Air-Vacuum.Pdl

Στη συνέχεια από το αριστερό μέρος **Source** επιλέγεται η σταθερά (**Constant**) **Air_Compressor_S60-2.Pdl** από το μενού των εικόνων που δημιουργήθηκαν στην εφαρμογή HMI. Ενώ στο δεξί μέρος **Target** ορίζεται ο προορισμός της εικόνας **Air_Compressor_S60-2.Pdl**. Αυτό γίνεται μέσω της επιλογής **Object in Picture** και στη συνέχεια των επιλογών **Picture Window1** από το μενού **Object** και **Picture**

Name από το μενού **Property**. Με τον τρόπο αυτό η εικόνα **Air_Compressor_S60-2.Pdl** εμφανίζεται στο πλαίσιο του **Picture Window1**.



Εικόνα 215: Σύνδεση της εικόνας του πεδίου Source με το αντικείμενο Picture Window1 – Air-Vacuum.Pdl

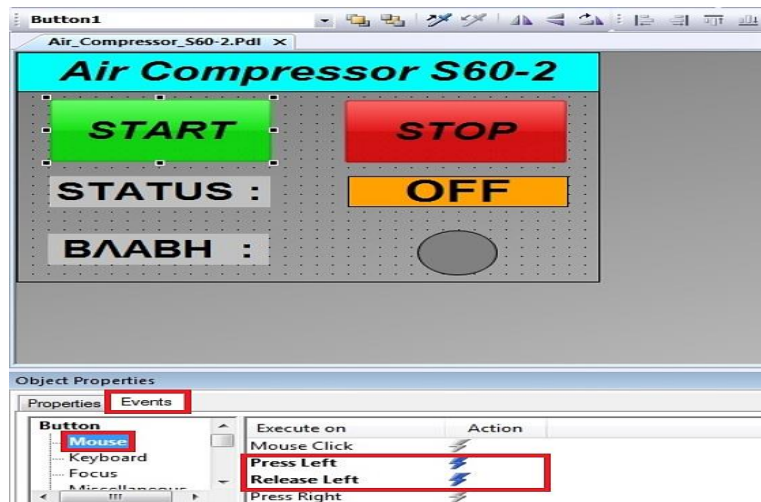
Η αντίστοιχη διαδικασία εφαρμόζεται και για τους άλλους δύο αεροσυμπιεστές SF60-2 και S29-2.

7.4.6 Εικόνα χειρισμού S60-2 – Air_Compressor_S60-2.Pdl

Η παρούσα υποενότητα αναφέρεται στην διαμόρφωση της εικόνας μέσω της οποίας γίνεται ο χειρισμός του αεροσυμπιεστή S60-2.

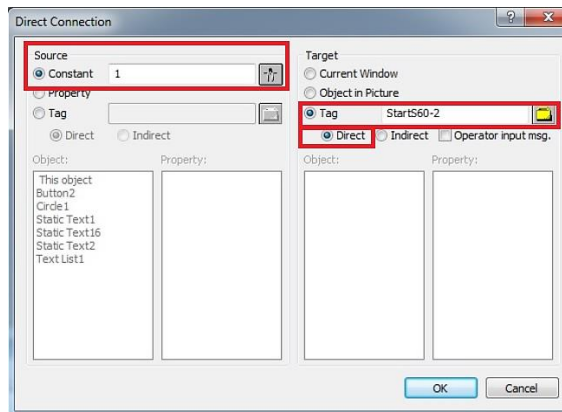
Στο επάνω μέρος της εικόνας δημιουργήθηκε ένα αντικείμενο **Static Text** το οποίο ονομάζεται **Air Compressor S60-2** που ουσιαστικά αποτελεί και τον τίτλο της εικόνας.

Στη συνέχεια ορίζεται το πρώτο button με όνομα **START** μέσω του οποίου γίνεται η απομακρυσμένη ενεργοποίηση του αεροσυμπιεστή S60-2. Για το σκοπό αυτό αρχικά επιλέγεται η καρτέλα **Events** και στη συνέχεια το μενού **Mouse**. Όπως και με τα αντίστοιχα buttons της εικόνας **Pumps.Pdl** έτσι και εδώ επιλέγοντας πρώτα την ιδιότητα **Press Left** δημιουργείται μία ενέργεια η οποία ορίζεται στην εικόνα 217.

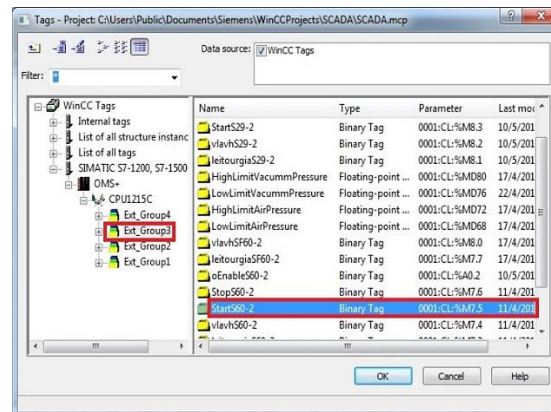


Εικόνα 216: Δημιουργία START button – Air_Compressor_S60-2.Pdl

Για την ενεργοποίηση του αεροσυμπιεστή τη χρονική στιγμή που ο χειριστής του SCADA πατήσει το button **START** η λογική τιμή **1** από το πεδίο **Source** μεταβιβάζεται στην μεταβλητή (tag) **StartS60-2** στο δεξί μέρος **Target** της εικόνας 217.

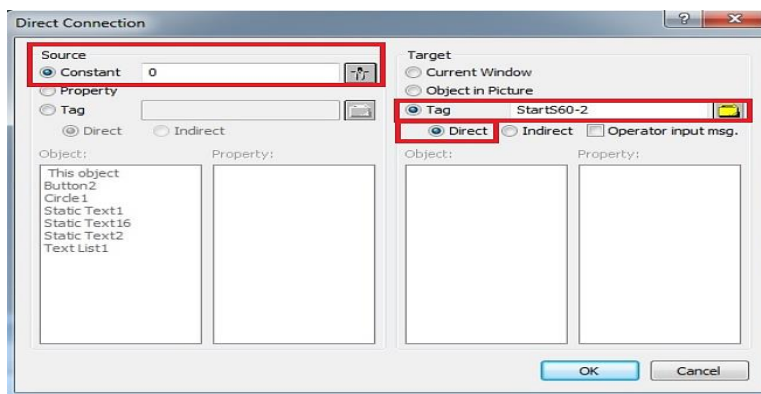


Εικόνα 217: Ορισμός της ενέργειας Press Left – Air_Compressor_S60-2.Pdl



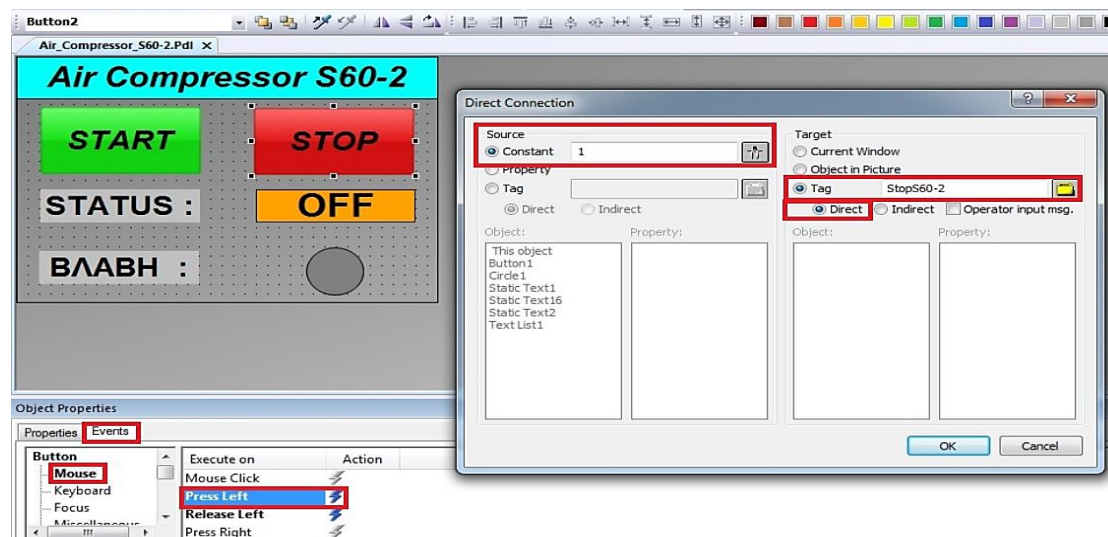
Εικόνα 218: Αναζήτηση της μεταβλητής StartS60-2 – Air_Compressor_S60-2.Pdl

Η αντίθετη διαδικασία ακολουθείται για τον ορισμό της ενέργειας **Release Left** κατά την οποία τώρα η λογική τιμή **0** μεταβιβάζεται στη μεταβλητή **StartS60-2**.

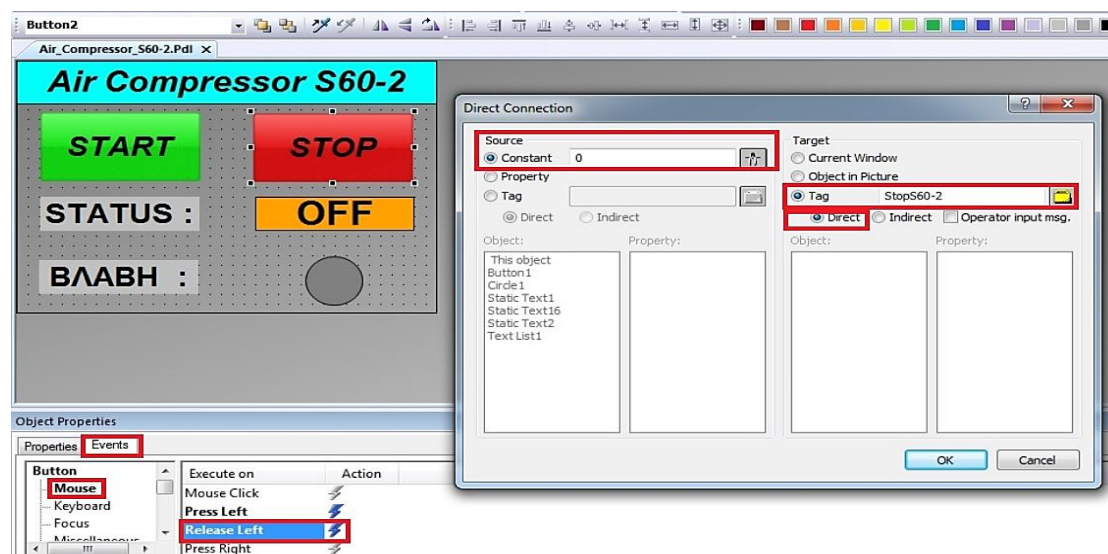


Εικόνα 219: Ορισμός της ενέργειας Release Left – Air_Compressor_S60-2.Pdl

Για το δεύτερο button **STOP** το οποίο απενεργοποιεί τον αεροσυμπιεστή **S60-2** κάνοντας αριστερό κλικ πάνω στο button η λογική τιμή **1** εγγράφεται στη μεταβλητή **StopS60-2** ενώ αφήνοντας το αριστερό κλικ η λογική τιμή **0** εγγράφεται στη μεταβλητή **StopS60-2**. Οι εικόνες 220 και 221 παρουσιάζουν τη διαδικασία.

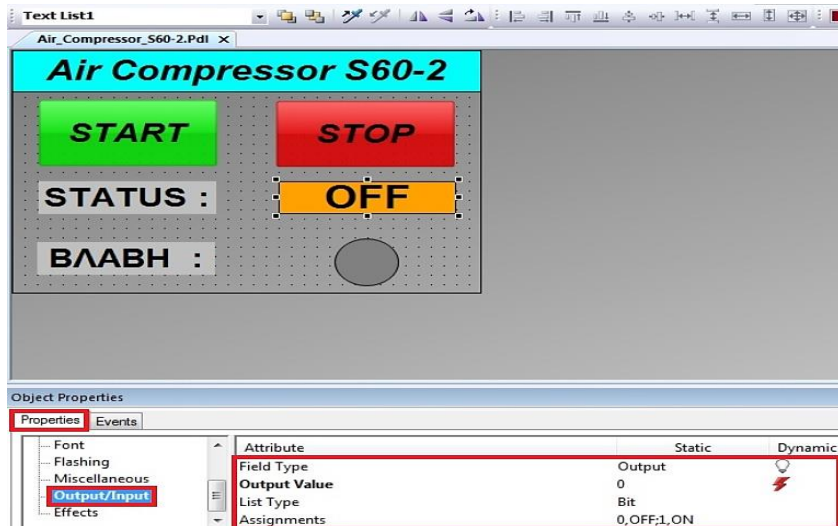


Εικόνα 220: Δημιουργία STOP button και ορισμός της ενέργειας Press Left – Air_Compressor_S60-2.Pdl



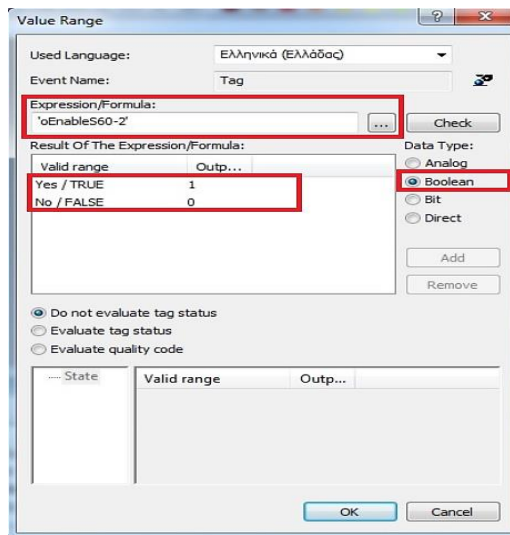
Εικόνα 221: STOP button και ορισμός της ενέργειας Release Left – Air_Compressor_S60-2.Pdl

Το επόμενο στοιχείο που περιλαμβάνεται στην εικόνα **Air_Compressor_S60-2.Pdl** είναι ένα **Text List** στο οποίο εμφανίζεται η τρέχουσα κατάσταση λειτουργίας του αεροσυμπιεστή **S60-2**. Για τη διαμόρφωση του συγκεκριμένου αντικειμένου επιλέγεται η καρτέλα **Properties** και στη συνέχεια το μενού **Output/Input**. Ο ορισμός των πεδίων ακολουθεί την ίδια λογική με τα **Text List** που ορίστηκαν στη εικόνα **Pumps.Pdl**. Η εικόνα 222 αποσαφηνίζει τη διαδικασία.

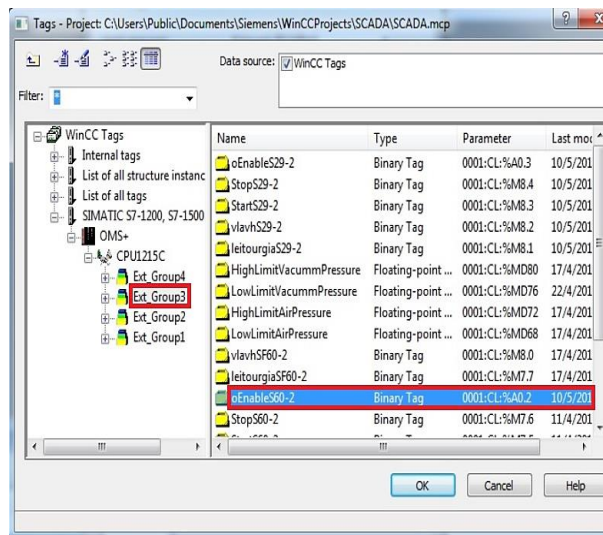


Εικόνα 222: Διαμόρφωση των πεδίων του αντικειμένου Text List – Air_Compressor_S60-2.Pdl

Από το πεδίο **Output Value** συνδέεται δυναμικά η κατάσταση της μεταβλητής **oEnableS60-2** με το status που θα εμφανίζεται στο συγκεκριμένο **Text List** όπως φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες.

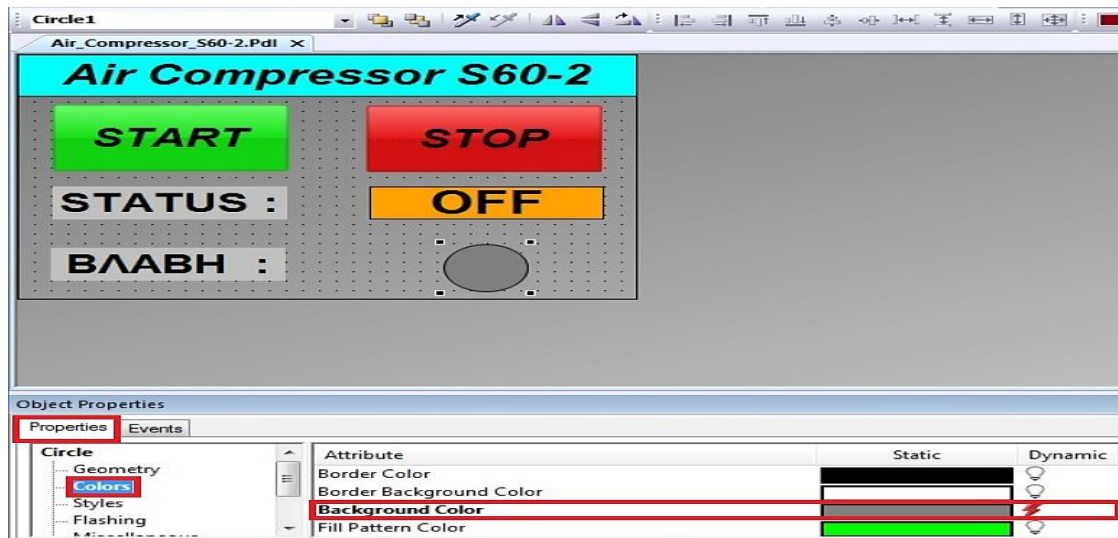


Εικόνα 223: Σύνδεση μεταβλητής oEnableS60-2 με το πεδίο Output Value (Text List) – Air_Compressor_S60-2.Pdl

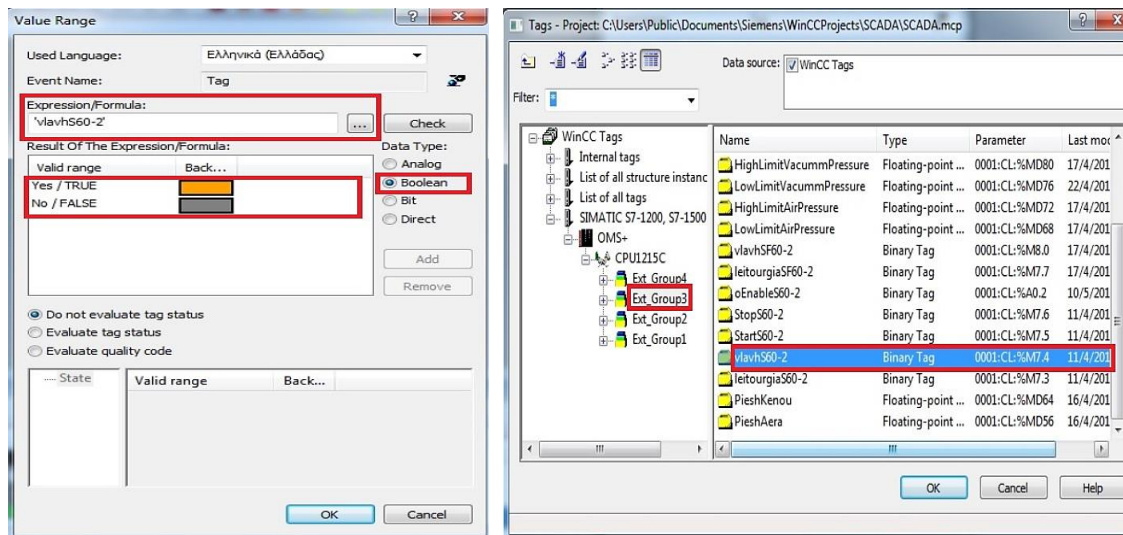


Εικόνα 224: Αναζήτηση της μεταβλητής oEnableS60-2 – Air_Compressor_S60-2.Pdl

Το τελευταίο στοιχείο της εικόνας αποτελεί ένα αντικείμενο **Circle** του οποίου η ιδιότητα **Background Color** συνδέεται δυναμικά με την κατάσταση της μεταβλητής **vlavhS60-2** όπως παρουσιάζεται στις ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 225: Δημιουργία αντικειμένου Circle – Air_Compressor_S60-2.Pdl



Εικόνα 226: Σύνδεση μεταβλητής vlavhS60-2 με το πεδίο Background Color – Air_Compressor_S60-2.Pdl

Εικόνα 227: Αναζήτηση της μεταβλητής vlavhS60-2 – Air_Compressor_S60-2.Pdl

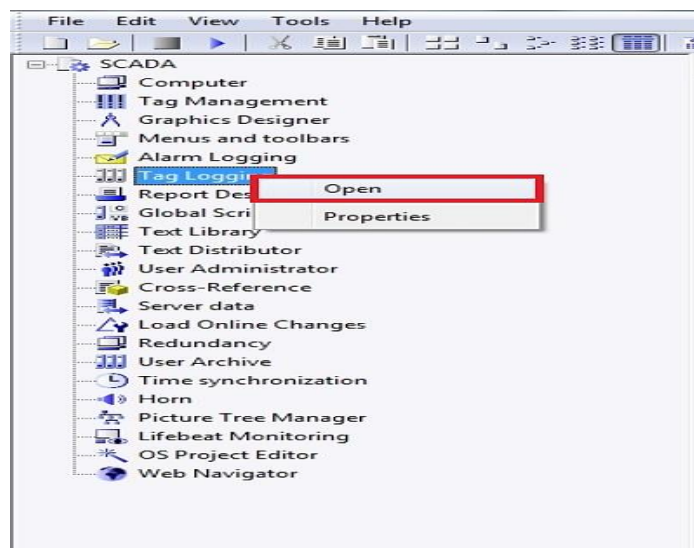
Στο σημείο αυτό έχει ολοκληρωθεί η παρουσίαση της εικόνας **Air_Compressor_S60-2.Pdl**.

Οι επόμενες εικόνες **Air_Compressor_SF60-2.Pdl** και **Air_Compressor_S29-2.Pdl** δημιουργήθηκαν ακολουθώντας την ίδια διαδικασία με αυτή της τρέχουσας εικόνας. Η μόνη διαφορά εντοπίζεται στην εικόνα **Air_Compressor_SF60-2.Pdl** στη οποία δεν γίνεται απομακρυσμένος έλεγχος στον αεροσυμπιεστή SF60-2 σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές που ορίστηκαν για την ανάπτυξη του συστήματος SCADA.

7.4.7 Καταγραφή και αποθήκευση μεταβλητών – Tag Logging

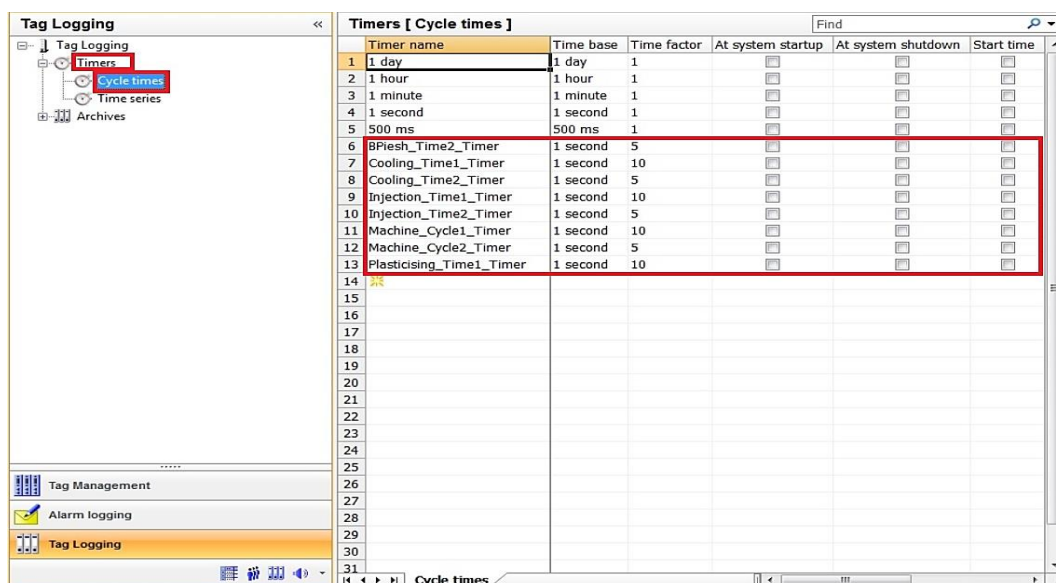
Στην υποενότητα αυτή θα αναλυθεί η διαδικασία του Tag Logging μέσω της οποίας προσφέρεται η δυνατότητα στον εκάστοτε χειριστή του συστήματος SCADA να καταγράφει και να επεξεργάζεται τις τιμές κρίσιμων παραμέτρων που είναι απαραίτητο να παρακολουθούνται.

Για τη δημιουργία του Tag Logging από το navigator window του λογισμικού WinCC επιλέγεται το πρόγραμμα **Tag Logging**.



Εικόνα 228: Εκκίνηση του βοηθητικού προγράμματος Tag logging

Το πρώτο βήμα είναι η δημιουργία των timer της εφαρμογής μέσω των οποίων ορίζεται το χρονικό διάστημα βάση του οποίου γίνεται η συλλογή των δεδομένων. Στην εφαρμογή που αναπτύχθηκε επιλέχθηκαν κυκλικοί timer (**Cycle Times**), ενώ όπως παρατηρείται για τις ανάγκες της εφαρμογής δημιουργήθηκαν 8 διαφορετικοί timer τα ονόματα των οποίων υποδεικνύουν τη μεταβλητή (tag) που παρακολουθείται.



Εικόνα 229: Επιλογή τύπου Timer - Tag logging

Ενδεικτικά για λόγους επαναληψιμότητας της διαδικασίας εξετάζονται οι περιπτώσεις του timer **Machine_Cycle1_Timer** και του **Machine_Cycle2_Timer** οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των τιμών των μεταβλητών **MachineCycleTime1** και **MachineCycleTime2** αντίστοιχα.

Αρχικά για τον timer **Machine_Cycle1_Timer** το πρώτο στοιχείο που πρέπει να οριστεί είναι το όνομα του, το οποίο δηλώνεται στη στήλη **Timer name**. Εν συνεχεία στη στήλη **Time base** καθορίζεται η βάση του χρόνου **cycle time** η οποία μπορεί να είναι μία από τις παραπάνω τιμές (1 day, 1 hour, 1 minute, 1 second, 500 ms). Ενώ στη στήλη **Time factor** ορίζεται μία ακέραια παράμετρο η οποία όταν πολλαπλασιάζεται με την παράμετρο **Time base** δίνει το χρονικό διάστημα βάση του οποίου θα συλλέγονται τα δεδομένα. Για τις ανάγκες της εφαρμογής που δημιουργήθηκε όπως εμφανίζεται στην καρτέλα **Properties – Time cycle** η παράμετρος Time base παίρνει την τιμή **1 second** και η παράμετρος Time factor την τιμή **10**. Η τιμή αυτή επιλέχθηκε διότι οι χρόνοι κύκλου της μηχανής 73 (Krauss Maffei C2) είναι κοντά στα 10 sec οπότε οι συγκεκριμένες τιμές αναμένεται να αλλάζουν σχεδόν κάθε 10 sec για αυτό και ο χρόνος δειγματοληψίας επιλέχθηκε κοντά σε αυτή την τιμή.

Timer name	Time base	Time factor	At system startup	At system shutdown	Start time
1 day	1 day	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 1 hour	1 hour	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 1 minute	1 minute	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 1 second	1 second	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 500 ms	500 ms	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 BPlesh_Time2_Timer	1 second	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Cooling_Time1_Timer	1 second	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 Cooling_Time2_Timer	1 second	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9 Injection_Time1_Timer	1 second	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 Injection_Time2_Timer	1 second	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 Machine_Cycle1_Timer	1 second	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 Machine_Cycle2_Timer	1 second	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 Plasticising_Time1_Timer	1 second	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Selection	Value
Object type	Time cycle
Object name	Machine_Cycle1_Timer
General	
Last change	8/4/2019 11:58:47 πμ
Timers	
Timer name	Machine_Cycle1_Timer
At system startup	<input type="checkbox"/>
At system shutdown	<input type="checkbox"/>
Start time	<input type="checkbox"/>
Month	
Day	
Hour	
Minute	
Second	
Cycle times	
Time base	1 second
Time factor	10

Εικόνα 230: Καθορισμός των ιδιοτήτων του Machine_Cycle1_Timer - Tag logging

Βάση αντίστοιχης λογικής για τον ορισμό του timer **Machine_Cycle2_Timer** για τα πεδία **Time base** και **Time factor** ορίζονται οι τιμές **1 second** και **5** αντίστοιχα.

Timer name	Time base	Time factor	At system startup	At system shutdown	Start time
1 day	1 day	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 1 hour	1 hour	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 1 minute	1 minute	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 1 second	1 second	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 500 ms	500 ms	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6 BPlesh_Time2_Timer	1 second	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7 Cooling_Time1_Timer	1 second	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8 Cooling_Time2_Timer	1 second	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9 Injection_Time1_Timer	1 second	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10 Injection_Time2_Timer	1 second	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11 Machine_Cycle1_Timer	1 second	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12 Machine_Cycle2_Timer	1 second	5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13 Plasticising_Time1_Timer	1 second	10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

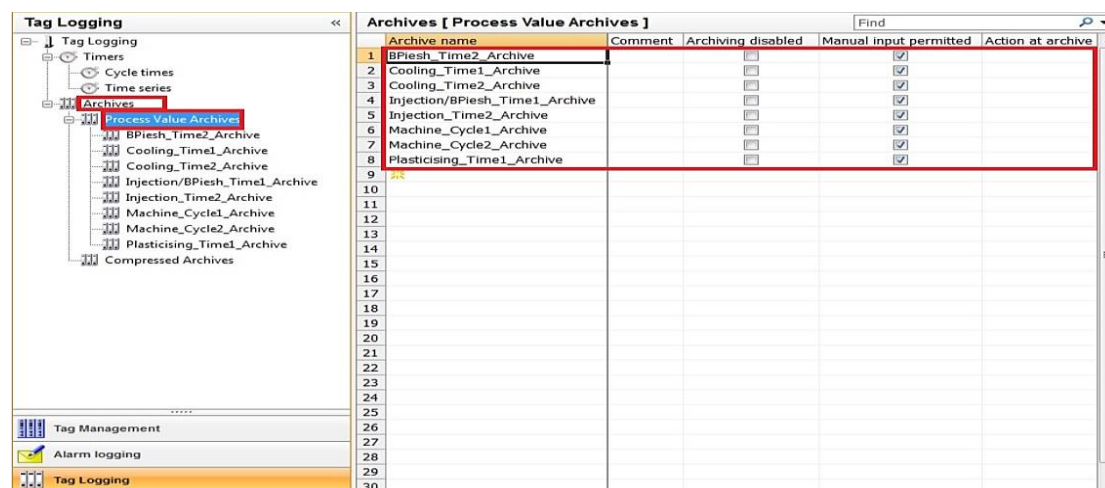
Selection	Value
Object type	Time cycle
Object name	Machine_Cycle2_Timer
General	
Last change	27/3/2019 12:09:31 μμ
Timers	
Timer name	Machine_Cycle2_Timer
At system startup	<input type="checkbox"/>
At system shutdown	<input type="checkbox"/>
Start time	<input type="checkbox"/>
Month	
Day	
Hour	
Minute	
Second	
Cycle times	
Time base	1 second
Time factor	5

Εικόνα 231: Καθορισμός των ιδιοτήτων του Machine_Cycle2_Timer - Tag logging

Το επόμενο βήμα της διαδικασίας Tag Logging είναι η δημιουργία και ο καθορισμός των ιδιοτήτων των αρχείων μέσα στα οποία καταγράφονται οι τιμές των αντίστοιχων

μεταβλητών που συνδέονται με το κάθε αρχείο. Τα αρχεία αυτά ονομάζονται Process Value Archives και όπως φαίνεται στη ακόλουθη εικόνα για τις ανάγκες της εφαρμογής που αναπτύχθηκε δημιουργήθηκαν 8 τέτοια αρχεία ένα για κάθε μεταβλητή που παρακολουθείται.

Για τη δημιουργία των συγκεκριμένων αρχείων επιλέγεται η καρτέλα **Archives** και στη συνέχεια το μενού **Process Value Archives**.



Εικόνα 232: Δημιουργία Process Value Archives - Tag logging

Όπως και στην περίπτωση των timer έτσι και εδώ αναλύονται 2 περιπτώσεις τέτοιων αρχείων το αρχείο **Machine_Cycle1_Archive** και το αρχείο **Machine_Cycle2_Archive** τα οποία αναφέρονται στις μεταβλητές **MachineCycleTime1** και **MachineCycleTime2** αντίστοιχα.

Ξεκινώντας με τη δημιουργία του αρχείου **Machine_Cycle1_Archive** το πρώτο πράγμα που ορίζεται είναι το πεδίο **Process Tag** το οποίο συνδέεται με τη μεταβλητή **MachineCycleTime1**. Ακριβώς δίπλα στη στήλη **Tag type** γίνεται η επιλογή **Analog** αφού η μεταβλητή που θα καταγράφεται παίρνει αναλογικές τιμές. Στη συνέχεια το πεδίο **Tag Name** ονομάζεται **Machine_Cycle_Time_1**. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι το tag logging, από τη στιγμή που οριστεί η μεταβλητή του συστήματος που θα καταγράφεται, δημιουργεί μία μεταβλητή τύπου αρχείου (archive tag) μέσω της οποίας διαχειρίζεται το συγκεκριμένο αρχείο που δημιουργείται. Αυτή ακριβώς η μεταβλητή είναι στη συγκεκριμένη περίπτωση η **Machine_Cycle_Time_1**. Στη συνέχεια όπως φαίνεται αριστερά στην καρτέλα **Properties – Tag** στο πεδίο **Archive name** ορίζεται το όνομα του αρχείου που είναι **Machine_Cycle1_Archive**. Ακολούθως στα πεδία **Acquisition type** και **Archiving/display cycle** ορίζεται ο timer που δημιουργήθηκε για την καταγραφή της συγκεκριμένης μεταβλητής και είναι ο **Machine_Cycle1_Timer**. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στην εικόνα 233.

Process tag	Tag type	Tag name	Archive name	Comment	Acqu
MachineCycleTime1	alog	Machine_Cycle_Time_1	Machine_Cycle1_Archive		Cycl

Properties - Tag	
Object type	Tag
Object name	Machine_Cycle_Time_1
General	
Comment	
Archiving disabled	<input type="checkbox"/>
Relevant long term	<input checked="" type="checkbox"/>
Manual input permitted	<input checked="" type="checkbox"/>
Last change	12/3/2019 10:06:12 ημ
General archive properties	
Archive name	Machine_Cycle1_Archive
General tag properties	
Process tag	MachineCycleTime1
Tag type	Analog
Tag name	Machine_Cycle_Time_1
Tag supply	System
Also in tag	
Archiving	
Acquisition type	Cyclical, continuous
Acquisition cycle	Machine_Cycle1_Timer
Factor for archiving cycle	1
Archiving/display cycle	Machine_Cycle1_Timer
Number of values leader	0
Number of values trailer	0
Start event	
Stop event	
Start tag	
Stop tag	
Archive after segment change	<input type="checkbox"/>
Hysteresis	0
Hysteresis Type	absolute

Εικόνα 233: Διαμόρφωση Machine_Cycle1_Archive - Tag logging

Στο τελευταίο βήμα για τον καθορισμό των ιδιοτήτων του **Machine_Cycle1_Archive** περιλαμβάνεται ο ορισμός της θέσης που θα καταγράφονται τα δεδομένα που συλλέγονται καθώς και το μέγεθος της μνήμης που θα καταλαμβάνουν. Προς την κατεύθυνση αυτή κάνοντας κλικ επάνω στο αρχείο που έχει δημιουργηθεί από το navigation window εμφανίζεται η καρτέλα **Properties – Process value archive**. Έτσι στο πεδίο **Memory location** επιλέγεται η κύρια μνήμη (**Main memory**) ενώ τα πεδία **Size in data records** και **Size in kB/tags** παίρνουν τις τιμές **100** και **3** αντίστοιχα.

Process tag	Tag type	Tag name	Archive name	Comment	Acqu
MachineCycleTime1	alog	Machine_Cycle_Time_1	Machine_Cycle1_Archive		Cycl

Properties - Tag	
Object type	Process value archive
Object name	Machine_Cycle1_Archive
General	
Comment	
Archiving disabled	<input type="checkbox"/>
Manual input permitted	<input checked="" type="checkbox"/>
Last change	12/3/2019 10:08:04 ημ
General archive properties	
Archive name	Machine_Cycle1_Archive
Action at archive start/enable	
Memory location	
Memory location	Main memory
Size in data records	100
Size in kB/tags	3

Εικόνα 234: Καθορισμός του χώρου αποθήκευσης Machine_Cycle1_Archive - Tag logging

Η αντίστοιχη διαδικασία ακολουθείται και για τη δημιουργία του **Machine_Cycle2_Archive** όπως παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα.

Archives [Machine_Cycle2_Archive]						Find	
Process tag	Tag type	Tag name	Archive name	Comment	Acqui		
1	MachineCycleTime2	Analog	Machine_Cycle_Time_2	Machine_Cycle2_Archive	Cycli		
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							

Properties - Tag	
Object type	Tag
Object name	Machine_Cycle_Time_2
General	
Comment	
Archiving disabled	<input type="checkbox"/>
Relevant long term	<input checked="" type="checkbox"/>
Manual input permitted	<input checked="" type="checkbox"/>
Last change	27/3/2019 12:17:32 μμ
General archive properties	
Archive name	Machine_Cycle2_Archive
General tag properties	
Process tag	MachineCycleTime2
Tag type	Analog
Tag name	Machine_Cycle_Time_2
Tag supply	System
Also in tag	
Archiving	
Acquisition type	Cyclical, continuous
Acquisition cycle	Machine_Cycle2_Timer
Factor for archiving cycle	1
Archiving/display cycle	Machine_Cycle2_Timer
Number of values leader	0
Number of values trailer	0
Start event	
Stop event	
Start tag	
Stop tag	
Archive after segment change	<input type="checkbox"/>
Hysteresis	0
Hysteresis Type	absolute

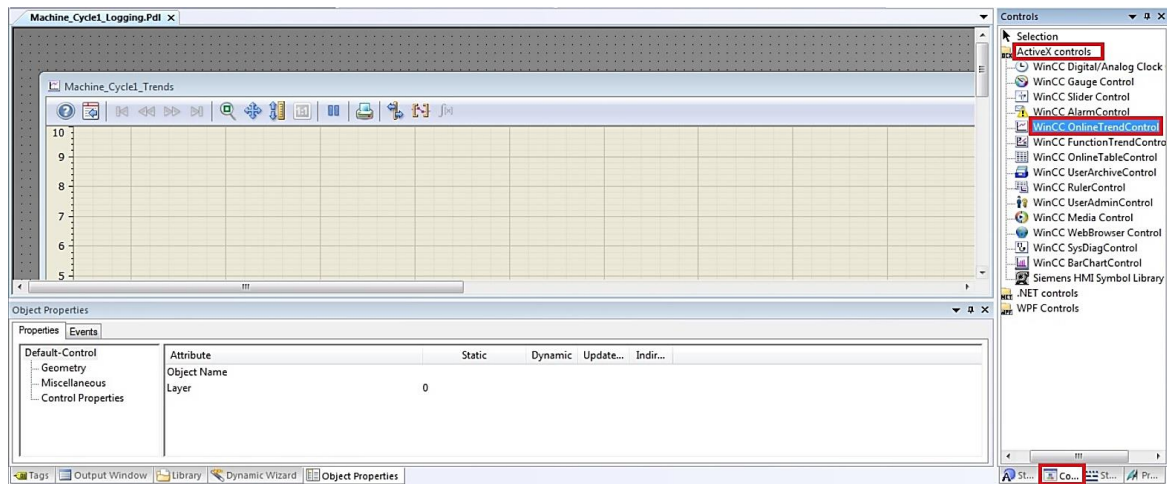
Εικόνα 235: Διαμόρφωση Machine_Cycle2_Archive - Tag logging

7.4.8 Δημιουργία εικόνας – Machine_Cycle1_Logging.Pdl

Έχοντας στην προηγούμενη υποενότητα δημιουργήσει τα αρχεία καταγραφής των τιμών των μεταβλητών του συστήματος (χρονικά δεδομένα) πλέον το επόμενο βήμα είναι η παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο και η επεξεργασία αυτών των δεδομένων. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκε μία σειρά εικόνων, οι οποίες διαμορφώθηκαν με τα κατάλληλα αντικείμενα που προσφέρουν τέτοιου είδους δυνατότητες.

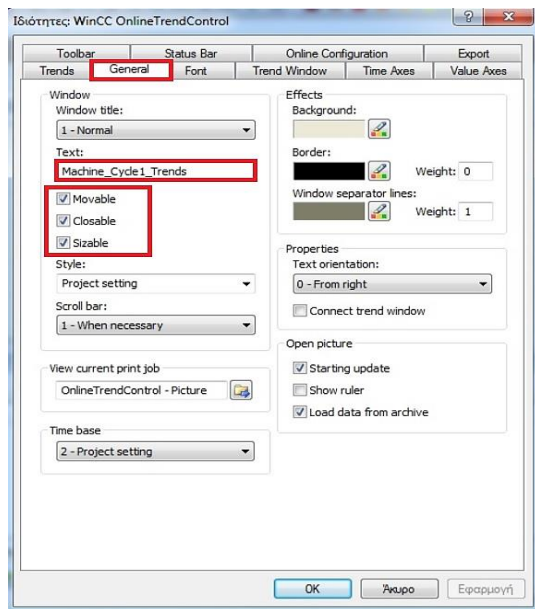
Για λόγους συντομίας και επαναληψιμότητας της διαδικασίας που ακολουθείται για τη δημιουργία αυτών των εικόνων στην παρούσα υποενότητα θα παρουσιαστεί η εικόνα **Machine_Cycle1_Logging.Pdl** που αφορά την παρακολούθηση της μεταβλητής **MachineCycleTime1**. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την δημιουργία και των υπόλοιπων εικόνων καταγραφής είναι πανομοιότυπη.

Αφού μέσω του navigator window του WinCC δημιουργηθεί η συγκεκριμένη εικόνα το πρώτο αντικείμενο που εισάγεται σε αυτή είναι το αντικείμενο **WinCC Online Trend Control**. Η επιλογή και εισαγωγή του συγκεκριμένου αντικειμένου στο πλαίσιο της εικόνας που δημιουργήθηκε γίνεται από την καρτέλα **Controls** και συγκεκριμένα από το μενού **ActiveX controls** με τη διαδικασία drag and drop.

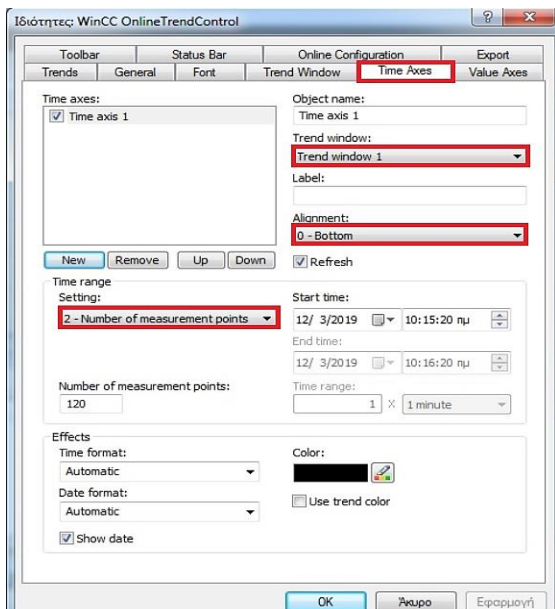


Εικόνα 236: Εισαγωγή του στοιχείου - WinCC Online Trend Control

Στη συνέχεια μέσω της επιλογής **Properties** γίνεται η διαμόρφωση του αντικειμένου **WinCC Online Trend Control**. Αρχικά από την καρτέλα **General** στο πλαίσιο **Text** δίνεται ο τίτλος **Machine_Cycle1_Trends** ο οποίος θα εμφανίζεται στο επάνω αριστερό μέρος του αντικειμένου και απαντά στο τι είδους δεδομένα (διάγραμμα σημείων) παρουσιάζονται μέσω του συγκεκριμένου αντικειμένου. Επιπλέον μέσα από αυτή την καρτέλα ορίζονται και κάποιες ιδιότητες που έχουν να κάνουν με τον τρόπο που παρουσιάζεται το αντικείμενο στη θόνη. Ακολούθως στην καρτέλα **Time Axes** ορίζονται οι ιδιότητες του άξονα που αναπαριστά τον χρόνο, με τις πιο σημαντικές από αυτές να παρουσιάζονται στην εικόνα 238.

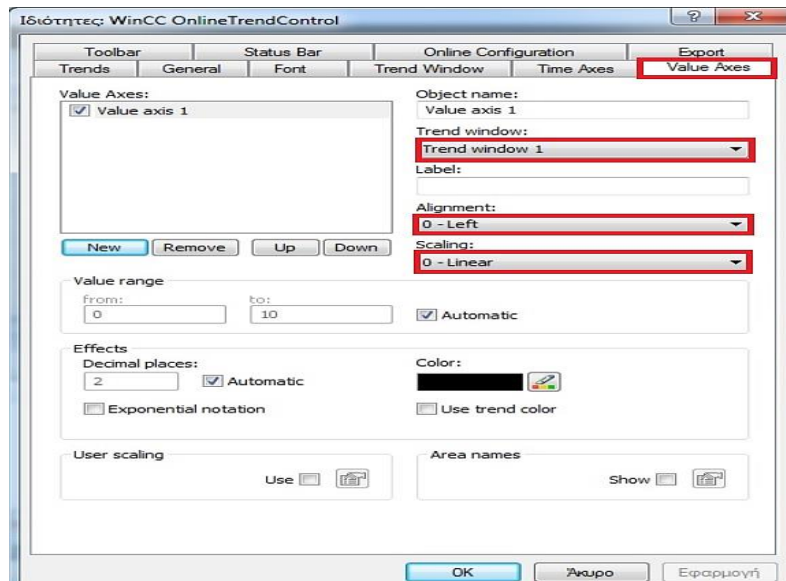


Εικόνα 237: Διαμόρφωση καρτέλας General - WinCC Online Trend Control



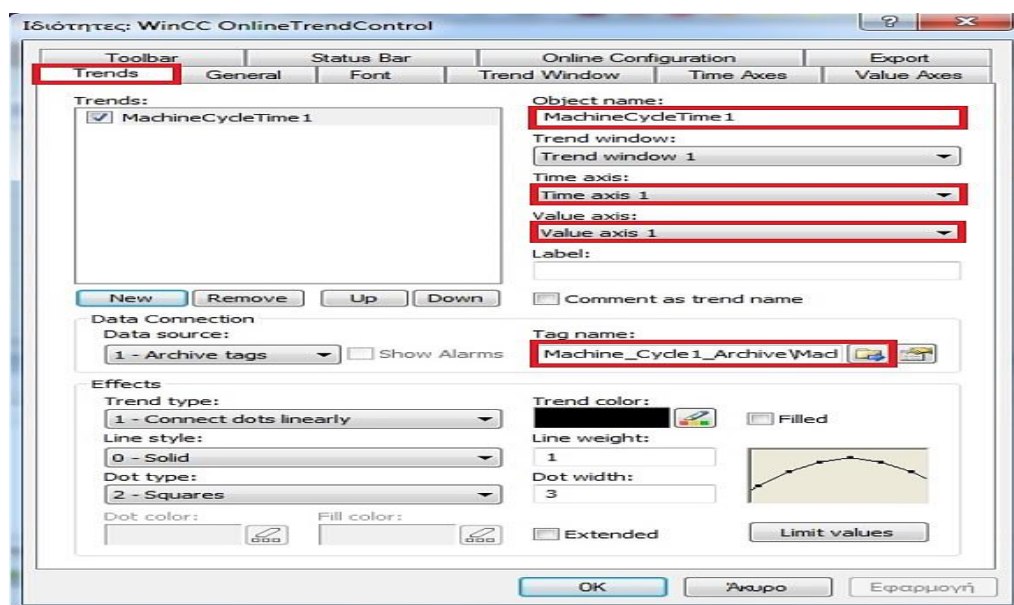
Εικόνα 238: Διαμόρφωση καρτέλας Time Axes - WinCC Online Trend Control

Όμοια στην καρτέλα **Value Axes** διαμορφώνεται ο άξονας που αναπαριστά το εύρος των τιμών τα μεταβλητής **MachineCycleTime1**, με τις βασικές ιδιότητες του να ορίζονται σύμφωνα με την εικόνα 239.

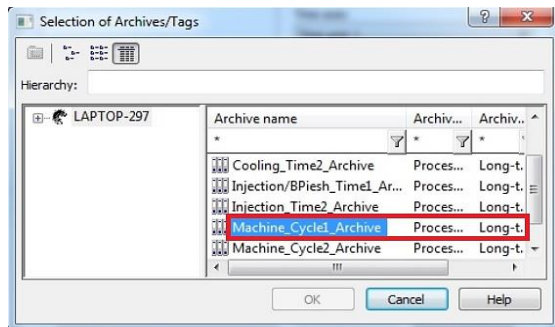


Εικόνα 239: Διαμόρφωση καρτέλας Value Axes - WinCC Online Trend Control

Έχοντας διαμορφώσει τις καρτέλες **General**, **Time Axes** και **Value Axes** η διαδικασία καθορισμού των ιδιοτήτων του αντικειμένου **WinCC Online Trend Control** ολοκληρώνεται επιλέγοντας την καρτέλα **Trends**. Ανοίγοντάς την καρτέλα **Trends** αρχικά στο πεδίο **Object name** εισάγεται το όνομα **MachineCycleTime1** το οποίο για λόγους ομοιότητας επιλέγεται να είναι το ίδιο με τη μεταβλητή που παρακολουθείται. Ακόμη στα πεδία **Time axis** και **Value axis** επιλέγονται τα αντικείμενα που ορίστηκαν προηγουμένως **Time axis 1** και **Value axis 1** αντίστοιχα. Τέλος στο πεδίο **Tag name** επιλέγεται μέσω της επιλογής της αναζήτησης δεξιά του πεδίου, αρχικά το όνομα του αρχείου εντός του οποίου καταγράφονται οι τιμές της μεταβλητής **MachineCycleTime1** και στη συνέχεια το archive tag **Machine_Cycle_Time_1** μέσω του οποίου το WinCC διαχειρίζεται το συγκεκριμένο αρχείο. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στις εικόνες 240 έως 242.

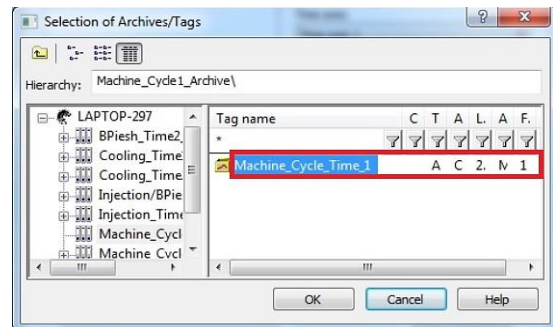


Εικόνα 240: Διαμόρφωση καρτέλας Trends - WinCC Online Trend Control



Εικόνα 241: Αναζήτηση αρχείου

Machine_Cycle1_Archive - WinCC Online Trend Control

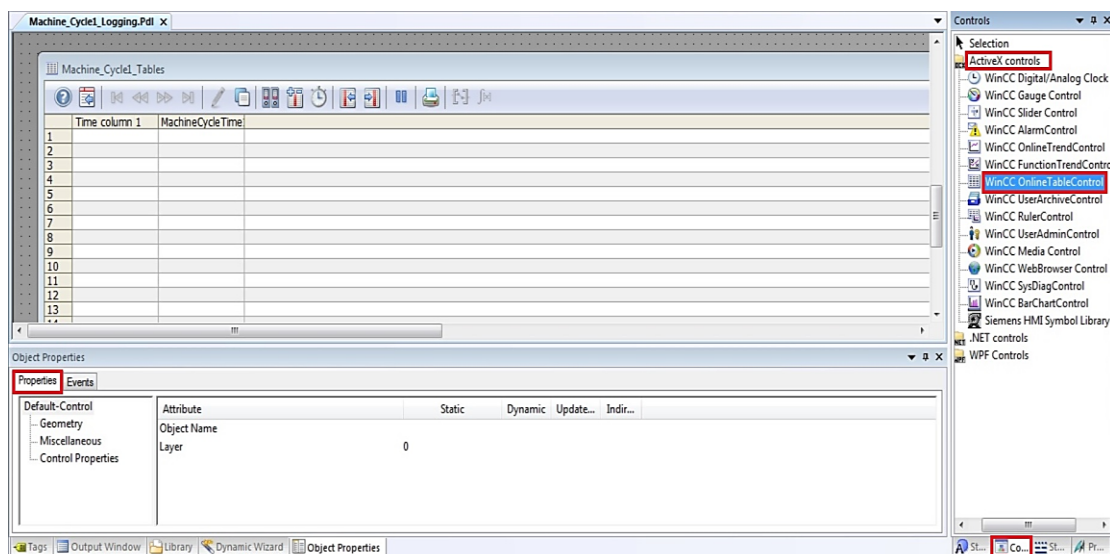


Εικόνα 242: Επιλογή archive tag

Machine_Cycle_Time_1 - WinCC Online Trend Control

Στην εικόνα **Machine_Cycle1_Logging.Pdl** για την καλύτερη παρακολούθηση των τιμών της μεταβλητής **MachineCycleTime1** πέραν του στοιχείου **WinCC Online Trend Control** προστέθηκε και το αντικείμενο **WinCC Online Table Control**. Στο αντικείμενο αυτό η καταγραφή των τιμών της μεταβλητής γίνεται σε μορφή πίνακα.

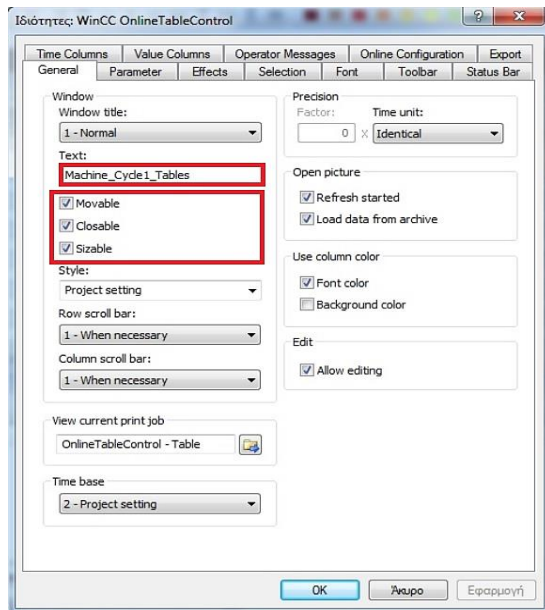
Έτσι για τη δημιουργία του συγκεκριμένου αντικειμένου και πάλι από την καρτέλα **Controls** και το μενού **ActiveX controls** επιλέγεται το αντικείμενο **WinCC Online Table Control**.



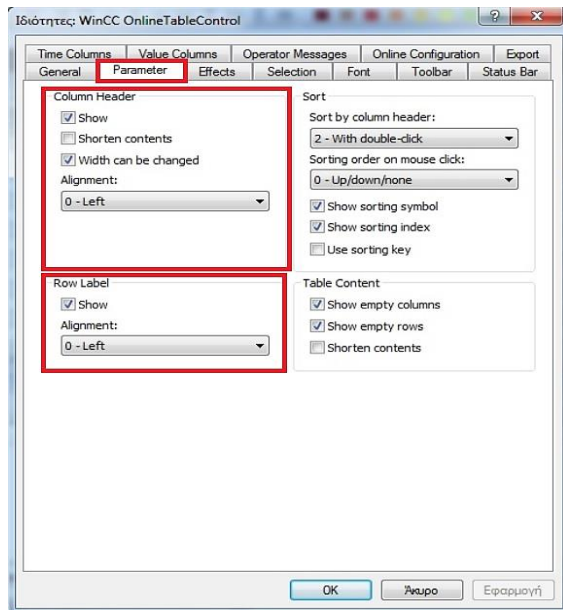
Εικόνα 243: Εισαγωγή του στοιχείου - WinCC Online Table Control

Κάνοντας κλικ στην επιλογή **Properties** από το αναδυόμενο παράθυρο επιλέγεται αρχικά η καρτέλα **General**. Μέσω αυτής της καρτέλας στο πεδίο **Text** συμπληρώνεται το κείμενο **Machine_Cycle1_Tables** το οποίο εμφανίζεται στο επάνω αριστερά μέρος του αντικειμένου, επίσης ορίζονται κάποιες ιδιότητες σχετικές με την προβολή του συγκεκριμένου αντικειμένου (πίνακα).

Στο επόμενο βήμα μεταβαίνοντας στην καρτέλα **Parameter** ορίζονται ορισμένες ιδιότητες που έχουν να κάνουν με την προβολή των στηλών του πίνακα όπως απεικονίζεται στην επόμενη εικόνα.

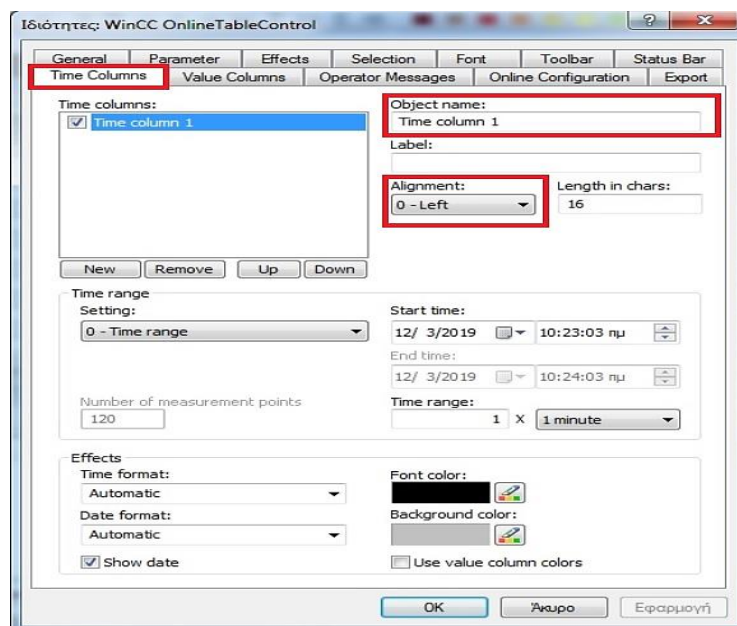


Εικόνα 244: Διαμόρφωση καρτέλας General - WinCC Online Table Control



Εικόνα 245: Διαμόρφωση καρτέλας Parameter - WinCC Online Table Control

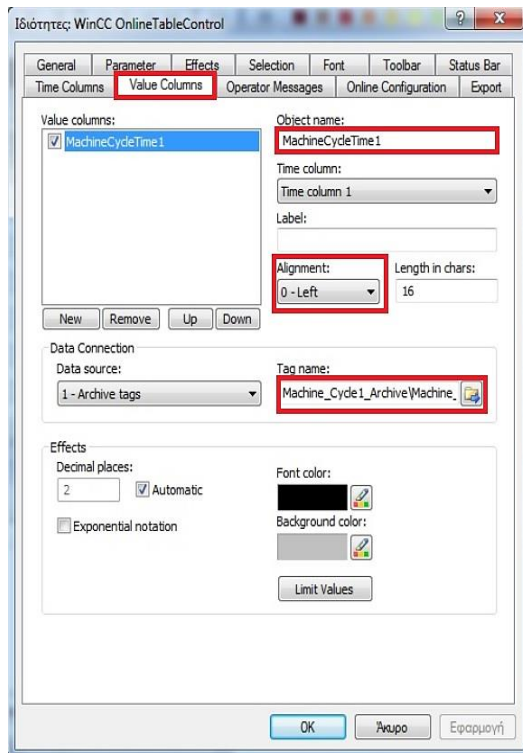
Ακολουθώντας επιλέγοντας την καρτέλα **Time Columns** ορίζονται οι ιδιότητες της στήλης που εμφανίζεται ο χρόνος. Το όνομα της συγκεκριμένης στήλης είναι **Time column 1** και καταχωρείται στο πεδίο **Object name**. Ο ορισμός των υπόλοιπων ιδιοτήτων φαίνονται στην επόμενη εικόνα.



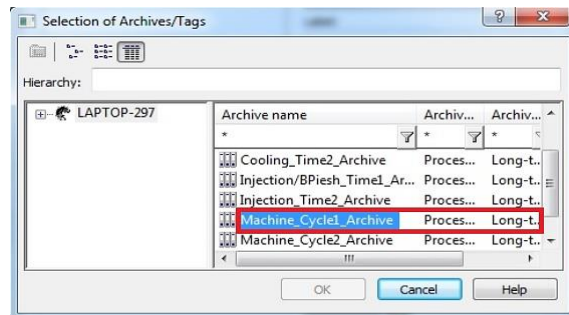
Εικόνα 246: Διαμόρφωση καρτέλας Time Columns - WinCC Online Table Control

Στο πεδίο **Value Columns** καθορίζονται οι ιδιότητες της δεύτερης στήλης του πίνακα, η οποία αποτελεί τη στήλη των τιμών της μεταβλητής **MachineCycleTime1**. Το όνομα που δίνεται στη συγκεκριμένη στήλη είναι **MachineCycleTime1**, το ίδιο δηλαδή με το όνομα της μεταβλητής. Τελειώνοντας με τον ορισμό του αντικειμένου ένα βασικό πεδίο που πρέπει να οριστεί είναι το πεδίο **Tag name**. Μέσω αυτού του πεδίου γίνεται η σύνδεση του αντικειμένου (πίνακα) που δημιουργείται με το αρχείο

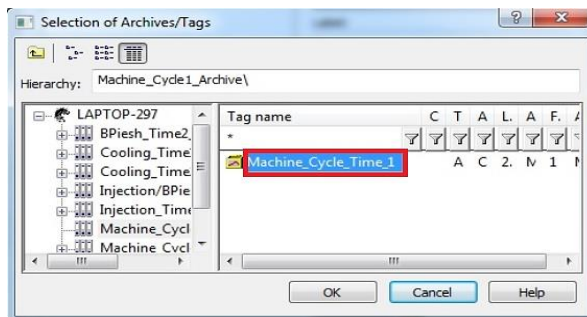
Machine_Cycle1_Archive και κατ' επέκταση με τη μεταβλητή αρχείου **Machine_Cycle_Time_1**. Οι εικόνες 247 έως 249 δείχνουν τη διαδικασία που ακολουθήθηκε.



Εικόνα 247: Διαμόρφωση καρτέλας Value Columns - WinCC Online Table Control

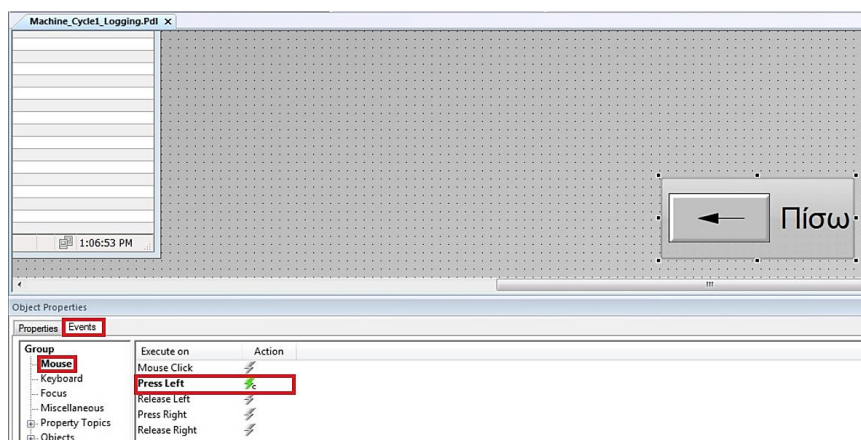


Εικόνα 248: Αναζήτηση αρχείου Machine_Cycle1_Archive - WinCC Online Table Control

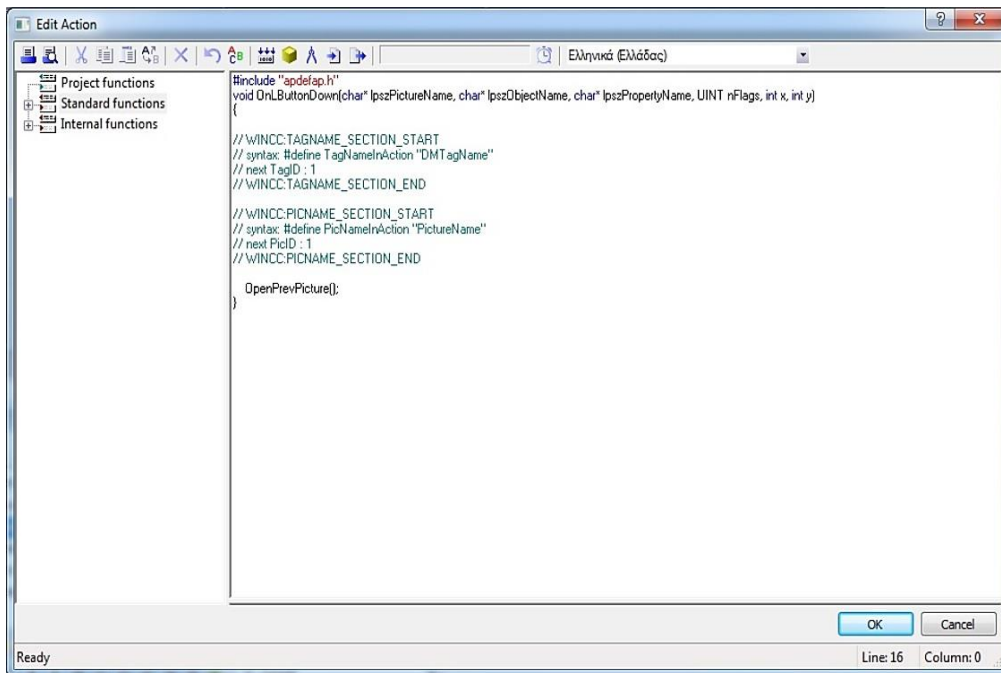


Εικόνα 249: Επιλογή archive tag Machine_Cycle_Time_1 - WinCC Online Table Control

Το τελευταίο αντικείμενο της εικόνας **Machine_Cycle1_Logging.Pdl** είναι ένα αντικείμενο button το οποίο επιτρέπει στον χειριστή της HMI εφαρμογής να επιστρέψει στην προηγούμενη εικόνα. Το όνομα του συγκεκριμένου button είναι **Πίσω** και η λειτουργία του ορίζεται από την καρτέλα **Events**. Από εκεί επιλέγοντας το μενού **Mouse** συνδέεται η ιδιότητα **Press Left** με τον κώδικα της εικόνας 248 και επιτυγχάνεται η επιστροφή στην προηγούμενη εικόνα.



Εικόνα 250: Διαμόρφωση button «Πίσω» - Machine_Cycle1_Logging.Pdl



Εικόνα 251: Κώδικας λειτουργίας button «Πίσω» - Machine_Cycle1_Logging.Pdl

7.4.9 Διαμόρφωση μηνυμάτων εκτάκτων καταστάσεων – Alarm Logging

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα SCADA πέραν της real time παρακολούθησης των τιμών που παίρνουν οι βασικές παράμετροι του συστήματος αυτοματισμού θα πρέπει να είναι σε θέση να παράγει τα κατάλληλα μηνύματα εκτάκτων καταστάσεων ακριβώς τη χρονική στιγμή που αυτές δημιουργούνται. Έτσι ο εκάστοτε χειριστής του συστήματος θα είναι σε θέση να αναγνωρίσει πολύ γρήγορα προβληματικές καταστάσεις και να προβαίνει στα απαραίτητα βήματα ώστε να τις διορθώσει.

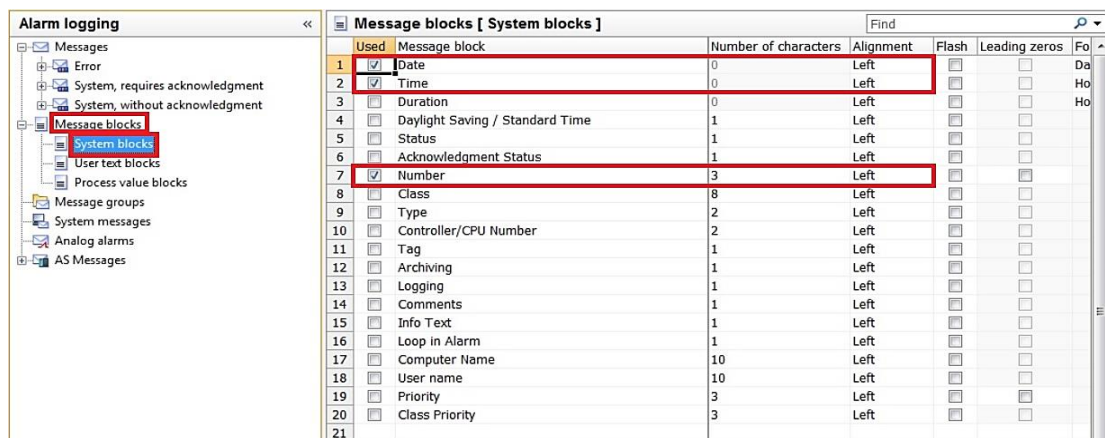
Για το σκοπό αυτό το λογισμικό WinCC χρησιμοποιεί το σύστημα μηνυμάτων (**message system**) το οποίο αποτελεί τμήμα του λογισμικού. Όταν δημιουργούνται συγκεκριμένες καταστάσεις ή αλλαγές κατά τη διάρκεια μίας διεργασίας το message system παράγει μηνύματα τα οποία παρουσιάζονται υπό τη μορφή πίνακα κατά τη διάρκεια του χρόνου που τρέχει η εφαρμογή (Runtime).

Στα πλαίσια της εφαρμογής που αναπτύχθηκε το πρώτο βήμα της διαδικασίας του alarm logging είναι η επιλογή από το navigator window του WinCC του μενού **Alarm Logging**.



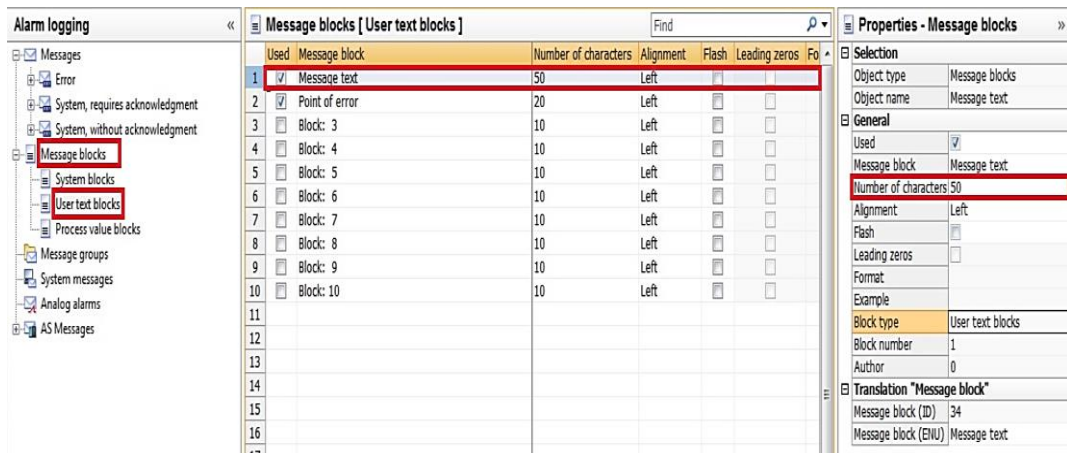
Εικόνα 252: Εκκίνηση του βοηθητικού προγράμματος Alarm logging

Επόμενο βήμα της διαδικασίας είναι ο ορισμός των message blocks τα οποία θα παρουσιάζονται υπό τη μορφή στηλών στον πίνακα μηνυμάτων. Αρχικά από την καρτέλα **Message blocks** επιλέγεται το μενού **System blocks**. Στο σημείο αυτό γίνεται η επιλογή των πεδίων που θα εμφανίζονται στα παραγόμενα μηνύματα εκτάκτων καταστάσεων (alarm messages). Τα πεδία αυτά υπάρχουν έτοιμα στο σύστημα και η επιλογή τους γίνεται από τον σχεδιαστή της HMI εφαρμογής. Για της ανάγκες της παρούσας εφαρμογής από το μενού **System blocks** επιλέχθηκαν τα πεδία **Date**, **Time** και **Number**.

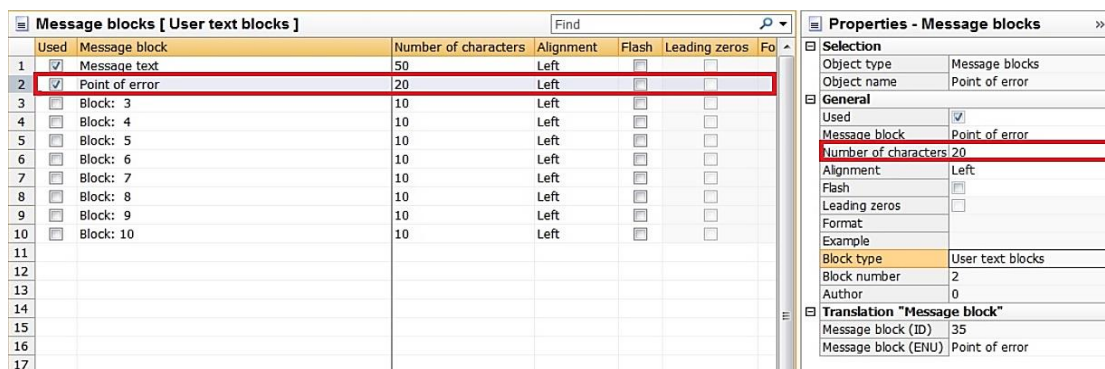


Εικόνα 253: Επιλογή System blocks - Alarm logging

Στη συνέχεια από το μενού **User text blocks** αρχικά επιλέγονται τα πεδία **Message text** και **Point of error** στα οποία ορίζεται η περιγραφή της έκτακτης κατάστασης και το σημείο που αυτή εντοπίζεται. Συγκεκριμένα για το πεδίο **Message text** μέσω του μενού **Properties – Message blocks** ορίζεται το μέγεθος σε 50 χαρακτήρες ενώ για το πεδίο **Point of error** το μέγεθος του είναι 20 χαρακτήρες.



Εικόνα 254: Διαμόρφωση πεδίου Message text - Alarm logging



Εικόνα 255: Διαμόρφωση πεδίου Point of error - Alarm logging

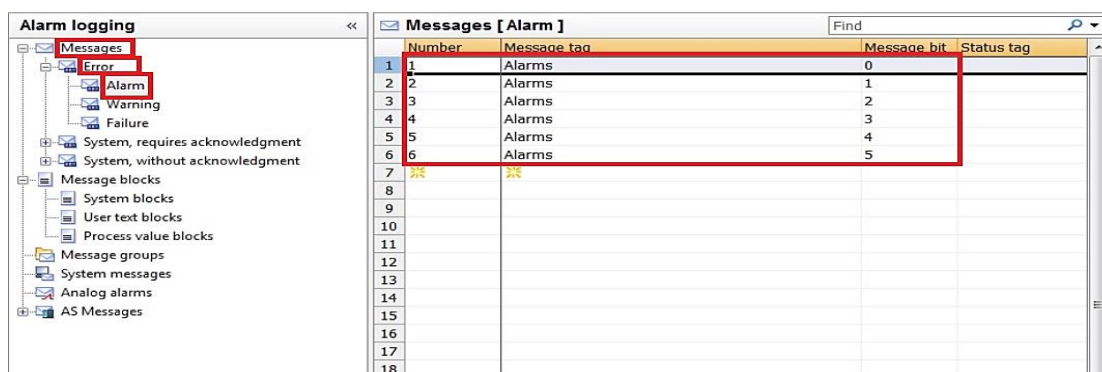
Όπως είχε αναφερθεί στην υποενότητα 7.3 το **Ext_Group4** περιέχει μόνο τη μεταβλητή με όνομα **Alarms** η οποία έχει μέγεθος 1 byte και περιέχει τις οι καταστάσεις των σημάτων alarm που είναι αποθηκευμένες στη μνήμη του κεντρικού PLC. Η μεταβλητή **Alarms** ονομάζεται message tag και από τα 8 bit που είναι το μέγεθος αυτής της μεταβλητής μόνο τα 6 bit ορίζουν ισάριθμους καταστάσεις έκτακτης ανάγκης.

Name	Data type	Length	Format adaptation	Connection	Group	Address
1 Alarms	Unsigned 8-bit value	1	ByteToUnsignedByte	CPU1215C	Ext_Group4	M89
2						
3						
4						
5						
6						
7						

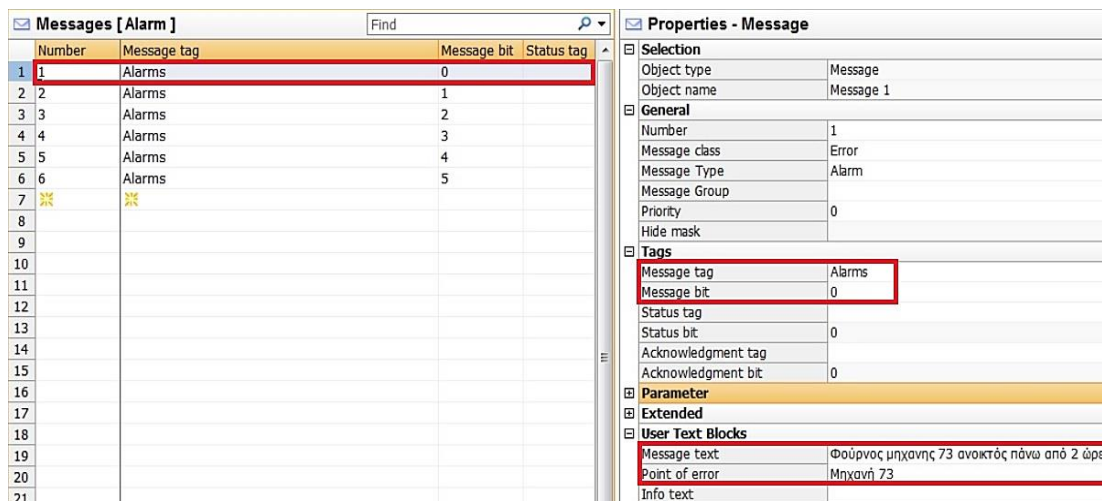
Εικόνα 256: Μεταβλητή αποθήκευσης καταστάσεων alarm - Alarm logging

Έχοντας υπόψη το γεγονός αυτό το επόμενο στάδιο της διαδικασίας του **Alarm Logging** είναι η δημιουργία των μηνυμάτων. Το είδος των μηνυμάτων που δημιουργήθηκαν ονομάζονται bit messages και τα συγκεκριμένα μηνύματα εμφανίζονται ανάλογα με την αλλαγή της κατάστασης του bit της της μεταβλητής **Alarms** με το οποίο συνδέεται το καθένα.

Για την δημιουργία των μηνυμάτων που αναφέρθηκαν πιο πάνω αρχικά από την καρτέλα **Messages** και το μενού **Error** επιλέγεται η κατηγορία **Alarm**. Κάνοντας κλικ στη πρώτη γραμμή του σχετικού πίνακα από την περιοχή **Properties – Message** καθορίζονται οι ιδιότητες του πρώτου μηνύματος. Το πρώτο πεδίο που ορίζεται είναι από την καρτέλα **Tags** το πεδίο **Message tag** το οποίο συνδέεται με τη μεταβλητή **Alarms**. Ακολουθεί το πεδίο **Message bit** το οποίο παίρνει την τιμή **0** υποδηλώνοντας ότι η αλλαγή κατάστασης του συγκεκριμένου bit της μεταβλητής **Alarms** πυροδοτεί την εμφάνιση του πρώτου μηνύματος. Στη συνέχεια από την καρτέλα **User Text Blocks** ορίζεται το πεδίο **Message text** το οποίο αποτελεί το κείμενο που θα εμφανίζεται όταν εμφανίζεται το πρώτο μήνυμα. Το κείμενο αυτό είναι το εξής « **Φούρνος μηχανής 73 ανοικτός πάνω από 2 ώρες**». Επίσης από τη συγκεκριμένη καρτέλα ορίζεται και το πεδίο **Point of error** το οποίο υποδηλώνει το σημείο από το οποίο προέκυψε η έκτακτη κατάσταση και για τη πρώτη περίπτωση είναι η **Μηχανή 73**. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στις εικόνες 257 και 258.



Εικόνα 257: Δημιουργία message bits - Alarm logging



Εικόνα 258: Ορισμός ιδιοτήτων Message bit 0 - Alarm logging

Η ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία του πρώτου μηνύματος και τον ορισμό του πρώτου **message bit** ακολουθείται και για τα υπόλοιπα 5. Οι παρακάτω εικόνες παρουσιάζουν τη διαδικασία αυτή.

Number	Message tag	Message bit	Status tag
1	Alarms	0	
2	Alarms	1	
3	Alarms	2	
4	Alarms	3	
5	Alarms	4	
6	Alarms	5	
7	✖	✖	
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			

Properties - Message	
Selection	
Object type	Message
Object name	Message 2
General	
Number	2
Message class	Error
Message Type	Alarm
Message Group	
Priority	0
Hide mask	
Tags	
Message tag	Alarms
Message bit	1
Status tag	
Status bit	0
Acknowledgment tag	
Acknowledgment bit	0
Parameter	
Extended	
User Text Blocks	
Message text	Φούρνος μηχανής 28 ανοικτός πάνω από 2 ώρες
Point of error	Μηχανή 28
Info text	

Εικόνα 259: Ορισμός ιδιοτήτων Message bit 1 - Alarm logging

Number	Message tag	Message bit	Status tag
1	Alarms	0	
2	Alarms	1	
3	Alarms	2	
4	Alarms	3	
5	Alarms	4	
6	Alarms	5	
7	✖	✖	
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			

Properties - Message	
Selection	
Object type	Message
Object name	Message 3
General	
Number	3
Message class	Error
Message Type	Alarm
Message Group	
Priority	0
Hide mask	
Tags	
Message tag	Alarms
Message bit	2
Status tag	
Status bit	0
Acknowledgment tag	
Acknowledgment bit	0
Parameter	
Extended	
User Text Blocks	
Message text	Υψηλή πίεση στο δίκτυο αέρα
Point of error	Δίκτυο αέρα
Info text	

Εικόνα 260: Ορισμός ιδιοτήτων Message bit 2 - Alarm logging

Number	Message tag	Message bit	Status tag
1	Alarms	0	
2	Alarms	1	
3	Alarms	2	
4	Alarms	3	
5	Alarms	4	
6	Alarms	5	
7	✖	✖	
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			

Properties - Message	
Selection	
Object type	Message
Object name	Message 4
General	
Number	4
Message class	Error
Message Type	Alarm
Message Group	
Priority	0
Hide mask	
Tags	
Message tag	Alarms
Message bit	3
Status tag	
Status bit	0
Acknowledgment tag	
Acknowledgment bit	0
Parameter	
Extended	
User Text Blocks	
Message text	Χαμηλή πίεση στο δίκτυο αέρα
Point of error	Δίκτυο αέρα
Info text	

Εικόνα 261 Ορισμός ιδιοτήτων Message bit 3 - Alarm logging

Number	Message tag	Message bit	Status tag
1	Alarms	0	
2	Alarms	1	
3	Alarms	2	
4	Alarms	3	
5	Alarms	4	
6	Alarms	5	

Property	Value
Object type	Message
Object name	Message 5
Number	5
Message class	Error
Message Type	Alarm
Message Group	
Priority	0
Hide mask	
Message tag	Alarms
Message bit	4
Status tag	
Status bit	0
Acknowledgment tag	
Acknowledgment bit	0
Message text	Χαμηλή πίεση στο δίκτυο κενού
Point of error	Δίκτυο κενού
Info text	

Εικόνα 262: Ορισμός ιδιοτήτων Message bit 4 - Alarm logging

Number	Message tag	Message bit	Status tag
1	Alarms	0	
2	Alarms	1	
3	Alarms	2	
4	Alarms	3	
5	Alarms	4	
6	Alarms	5	

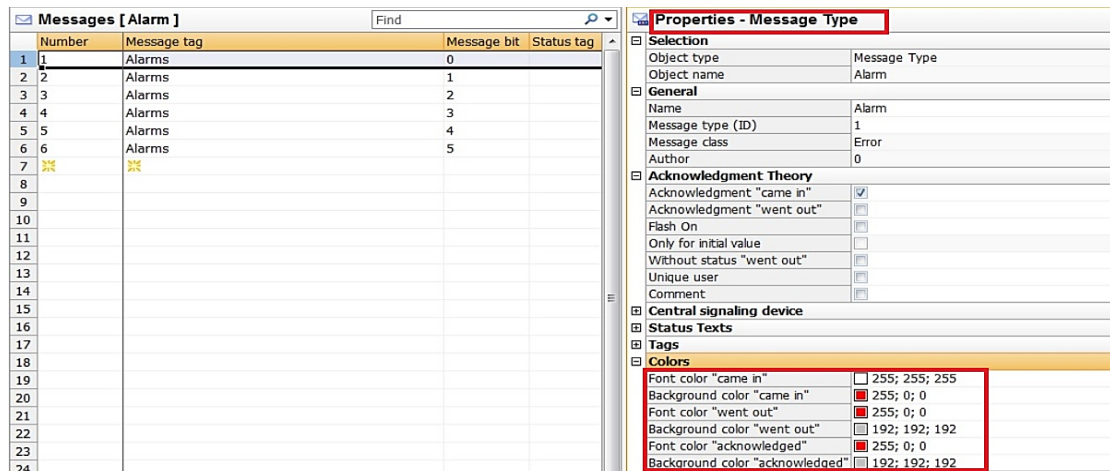
Property	Value
Object type	Message
Object name	Message 6
Number	6
Message class	Error
Message Type	Alarm
Message Group	
Priority	0
Hide mask	
Message tag	Alarms
Message bit	5
Status tag	
Status bit	0
Acknowledgment tag	
Acknowledgment bit	0
Message text	Υψηλή πίεση στο δίκτυο κενού
Point of error	Δίκτυο κενού
Info text	

Εικόνα 263: Ορισμός ιδιοτήτων Message bit 5 - Alarm logging

Τελευταίο βήμα της διαδικασίας **Alarm Logging** αποτελεί ο καθορισμός του χρώματος εμφάνισης των διαφόρων καταστάσεων των μηνυμάτων. Για το σκοπό αυτό αρχικά επιλέγεται το μενού **Alarm** και εν συνεχεία η καρτέλα **Properties – Message Type**. Από το πεδίο **Colors** καθορίζονται τα χρώματα εμφάνισης των μηνυμάτων ανάλογα με την κατάσταση τους. Στο WinCC υπάρχουν 3 διαφορετικές καταστάσεις που μπορεί να βρεθεί ένα μήνυμα και αυτές είναι οι εξής:

1. Εισερχόμενα μηνύματα (came in messages) τα οποία εμφανίζονται για όσο χρόνο η αιτία που προκάλεσε την εμφάνιση τους υπάρχει ακόμη.
2. Εξερχόμενα μηνύματα (went out messages) τα οποία εμφανίζονται όταν η αιτία που προκάλεσε την εμφάνιση τους δεν υπάρχει πλέον.
3. Μηνύματα τα οποία έχουν αναγνωριστεί από τον χειριστή του συστήματος (acknowledged messages)

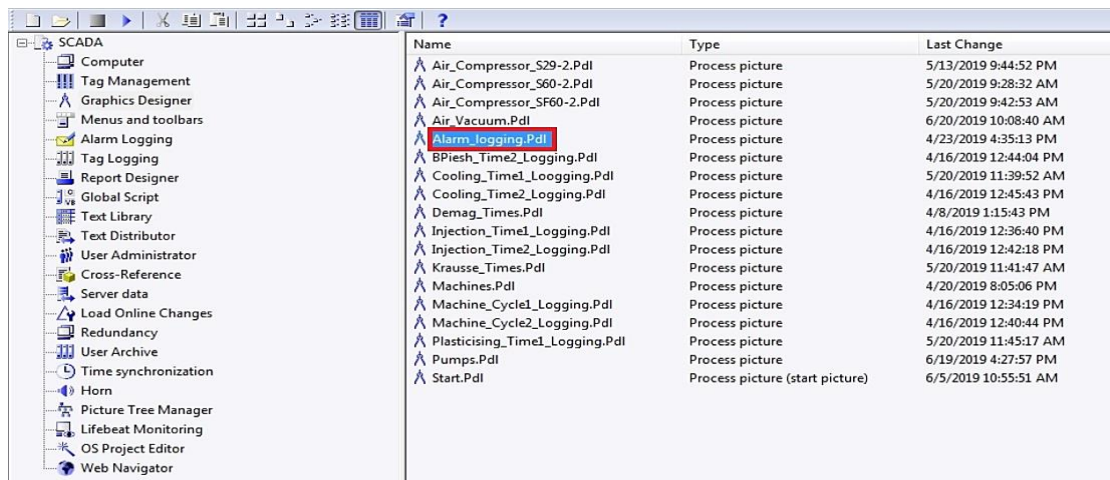
Η εικόνα 264 παρουσιάζει τη διαδικασία.



Εικόνα 264: Καθορισμός ιδιοτήτων χρωμάτων των παραγόμενων μηνυμάτων - Alarm logging

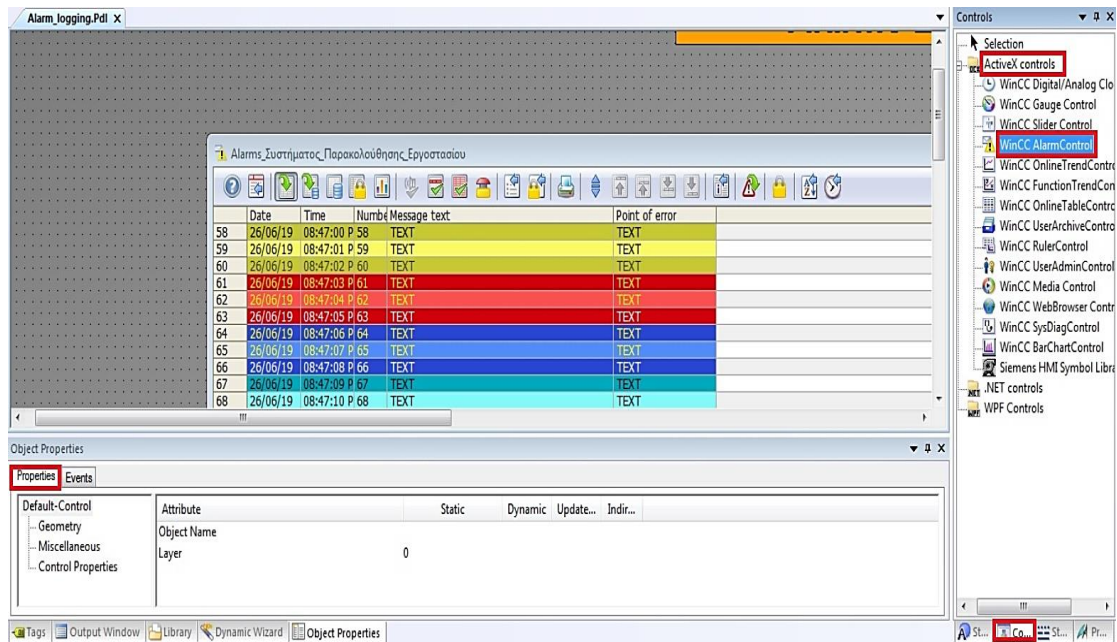
7.4.10 Δημιουργία εικόνας - Alarm_Logging.Pdl

Η τελευταία εικόνα της εφαρμογής HMI είναι η εικόνα **Alarm_Logging.Pdl** στην οποία παρουσιάζονται τα μηνύματα εκτάκτων καταστάσεων (alarms) με συγκεντρωτική μορφή ενός πίνακα.



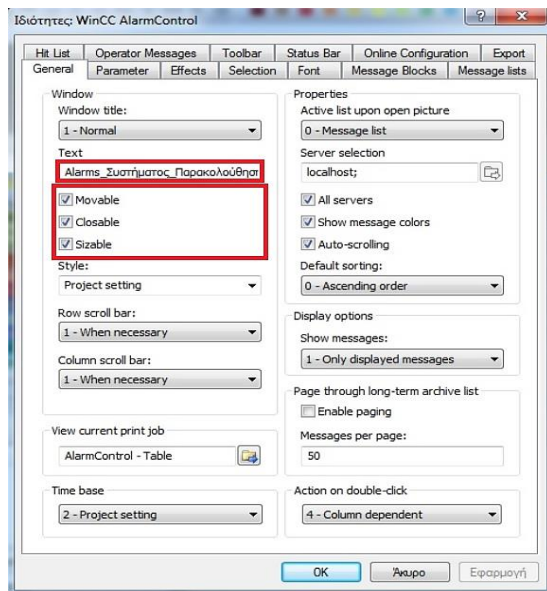
Εικόνα 265: Δημιουργία εικόνας Alarm_logging.Pdl

Για τη δημιουργία του συγκεκριμένου πίνακα από την καρτέλα **Controls** και το μενού **ActiveX controls** επιλέγεται το αντικείμενο **WinCC Alarm Control** το οποίο με τη μέθοδο drag and drop προστίθεται στην εικόνα **Alarm_Logging.Pdl**.

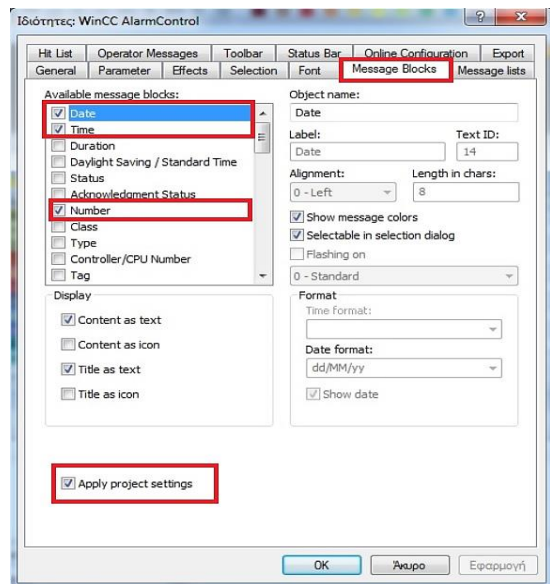


Εικόνα 266: Εισαγωγή αντικειμένου WinCC Alarm Control

Επιλέγοντας την καρτέλα **Properties** εμφανίζεται το παράθυρο καθορισμού των ιδιοτήτων του αντικειμένου. Αρχικά από το αναδυόμενο παράθυρο επιλέγεται η καρτέλα **General** και στο πεδίο **Text** εισάγεται ο τίτλος του αντικειμένου που είναι **Alarms_Συστήματος_Παρακολούθησης_Εργοστασίου**. Επιπλέον στο σημείο αυτό καθορίζονται και ορισμένα χαρακτηριστικά για τον τρόπο προβολής του αντικειμένου όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 267. Στη συνέχεια μέσω της καρτέλα **Message Blocks** επιλέγονται τα πεδία που θα εμφανίζονται στον πίνακα μηνυμάτων και ενεργοποιείται η επιλογή **Apply project settings**.

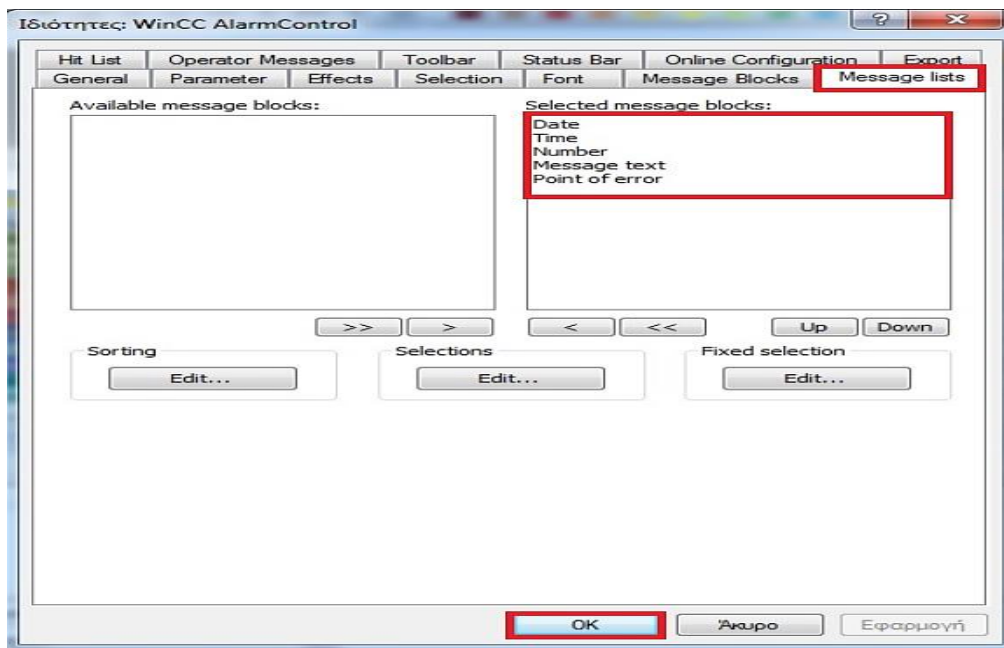


Εικόνα 267: Διαμόρφωση καρτέλας General - WinCC Alarm Control



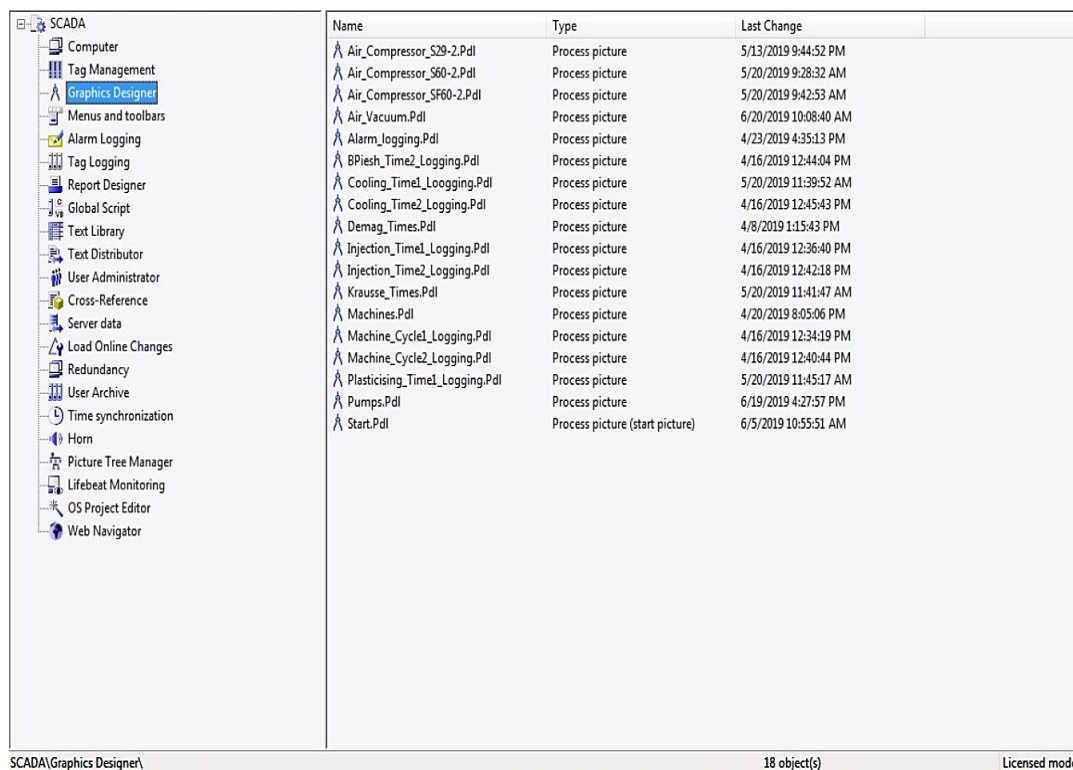
Εικόνα 268: Διαμόρφωση καρτέλας Message Blocks - WinCC Alarm Control

Τέλος από την καρτέλα **Message Lists** ενεργοποιούνται τα πεδία **Message text** και **Point of error** και προστίθενται εντός του πλαισίου **Selected message blocks**.



Εικόνα 269: Διαμόρφωση καρτέλας Message Lists - WinCC Alarm Control

Στο σημείο αυτό έχει ολοκληρωθεί και η δημιουργία της τελευταίας εικόνας της εφαρμογής HMI που αναπτύχθηκε για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της βιομηχανικής μονάδας «Kotronis Plastics SA». Η εικόνα που έχει πλέον η καρτέλα **Graphic Designer** του WinCC είναι η ακόλουθη.



Εικόνα 270: Το πρόγραμμα Graphic Designer με όλες τις εικόνες που δημιουργήθηκαν

Έχοντας πλέον ολοκληρώσει την δημιουργία της HMI εφαρμογής και του συνόλου των εικόνων και των ρυθμίσεων που την απαρτίζουν στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει

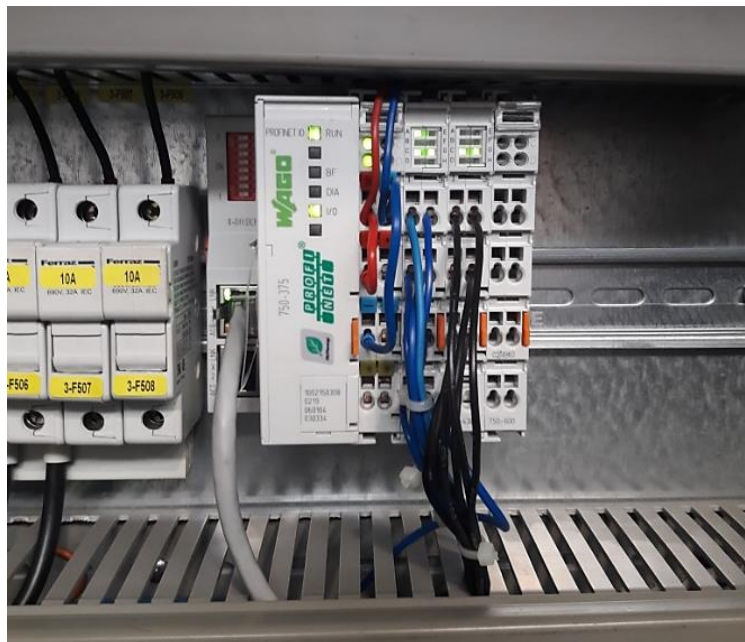
παρουσίαση της εφαρμογής σε Runtime mode. Μέσα από αυτή τη διαδικασία δίνεται η δυνατότητα ο αναγνώστης να έχει μία σφαιρική εικόνα για εφαρμογή που δημιουργήθηκε παρακολουθώντας δεδομένα που συλλέχθηκαν από το αναπτυχθέν σύστημα SCADA σε πραγματικό χρόνο.

Κεφάλαιο 8 - Παρουσίαση εφαρμογής

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία παρουσίαση του συστήματος που αναπτύχθηκε μέσα από φωτογραφικό υλικό το οποίο συλλέχθηκε με την ολοκλήρωση και ενεργοποίηση του συστήματος εποπτικού ελέγχου. Αρχικά στην υποενότητα 8.1 παρουσιάζεται μέσα από φωτογραφικό υλικό η ηλεκτρολογική εγκατάσταση και ο πίνακας αυτοματισμού που κατασκευάστηκε για τις ανάγκες του συστήματός. Ενώ στην υποενότητα 8.2 γίνεται μία περιήγηση, μέσω εικόνων από την οθόνη του υπολογιστή που λειτούργησε ως server, στο μενού και στις εικόνες της εφαρμογής που αναπτύχθηκαν με το λογισμικό WinCC v7.4

8.1 Παρουσίαση ηλεκτρολογικής εγκατάστασης – πίνακα αυτοματισμού

Σε αυτή την υποενότητα παρουσιάζονται μέσω εικόνων τα στοιχεία της εγκατάστασης που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του συστήματος SCADA. Ο εξοπλισμός που επιλέχθηκε έχει παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 5 και οποιοδήποτε μπορεί να βρει περαιτέρω στοιχεία στα αντίστοιχα site των κατασκευαστών που αναφέρονται στις αναφορές που έγιναν. Επιπλέον μέσα από την προβολή των εν λόγω εικόνων παρουσιάζεται και η πρόοδο κατά την κατασκευή και εγκατάσταση του πίνακα αυτοματισμού του συστήματος.



Εικόνα 271: Εγκατάσταση Profinet remote I/O



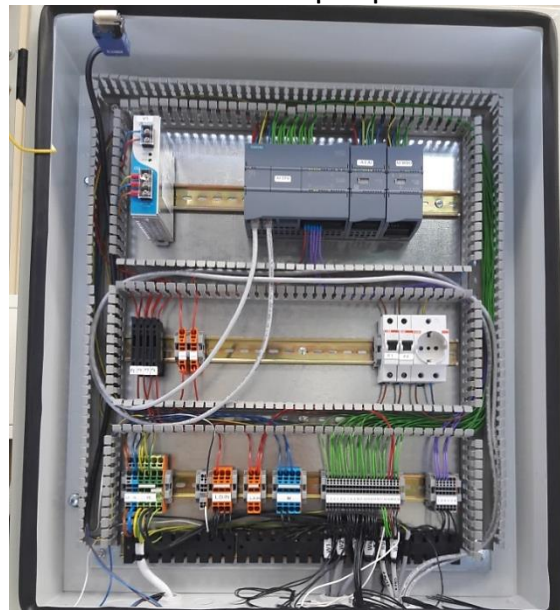
Εικόνα 272: Πρώτα στάδια κατασκευής του πίνακα αυτοματισμού



Εικόνα 273: Ολοκλήρωση εσωτερικής καλωδίωσης του πίνακα αυτοματισμού



Εικόνα 274: Τοποθέτηση του πίνακα αυτοματισμού του συστήματος SCADA

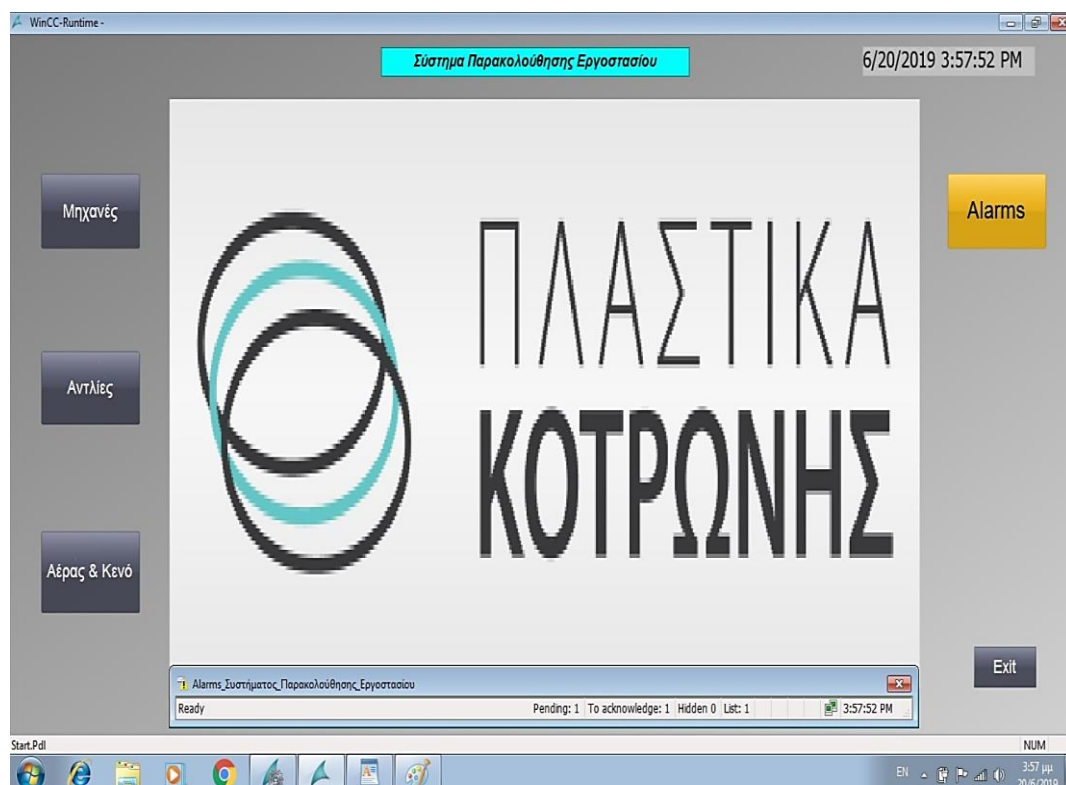


Εικόνα 275: Ολοκλήρωση του πίνακα αυτοματισμού του συστήματος SCADA

8.2 Παρουσίαση εφαρμογής σε Runtime mode

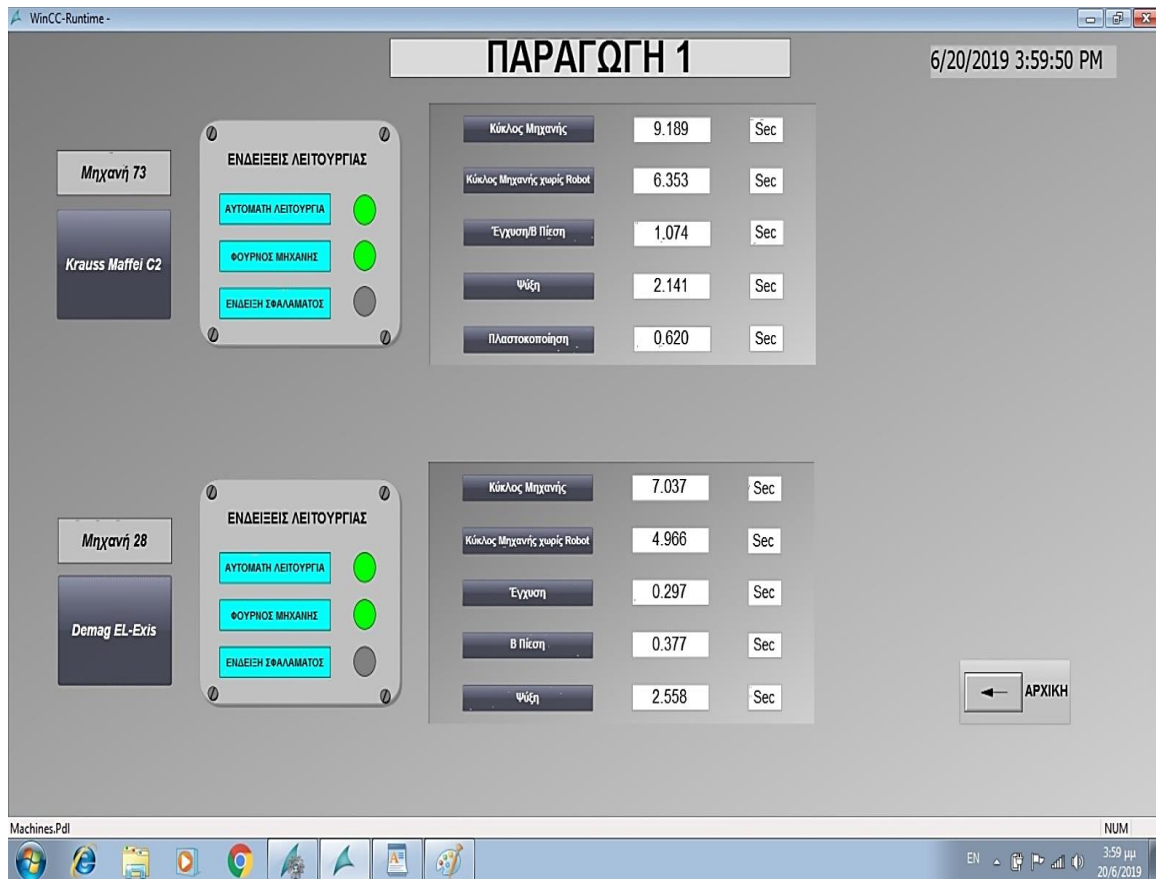
Στη συγκεκριμένη υποενότητα θα ακολουθήσει η παρουσίαση της εφαρμογής HMI που αναπτύχθηκε για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των συστημάτων που εντάχθηκαν στο αναπτυχθέν σύστημα SCADA της βιομηχανικής μονάδας «ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΟΤΡΩΝΗΣ ΑΒΕΕ». Η συγκεκριμένη παρουσίαση προβάλλει δεδομένα που παρουσιάστηκαν στο σύστημα SCADA σε πραγματικό χρόνο με την ολοκλήρωση και την ενεργοποίηση του συστήματος.

Αρχικά η εικόνα 276 αποτελεί την αρχική εικόνα που παρουσιάζεται στην οθόνη του SCADA server H/Y του συστήματος. Στη συγκεκριμένη εικόνα διακρίνεται το μενού του συστήματος που αποτελείται από τα βασικά buttons **Μηχανές**, **Αντλίες**, **Αέρας & Κενό** και **Alarms**. Επιπλέον στο κάτω μέρος της αρχικής εικόνας διακρίνεται και ένας πίνακας μηνυμάτων (**WinCC Alarm Control**) μέσω του οποίου προβάλλονται και στην αρχική οθόνη μηνύματα εκτάκτων καταστάσεων δίνοντας τη δυνατότητα στον εκάστοτε χειριστή του SCADA να αντιδράσει εγκαίρως. Τέλος η αρχική εικόνα εμπεριέχει και το button **Exit** με το οποίο απενεργοποιείται η εφαρμογή και σταματά το Runtime mode.



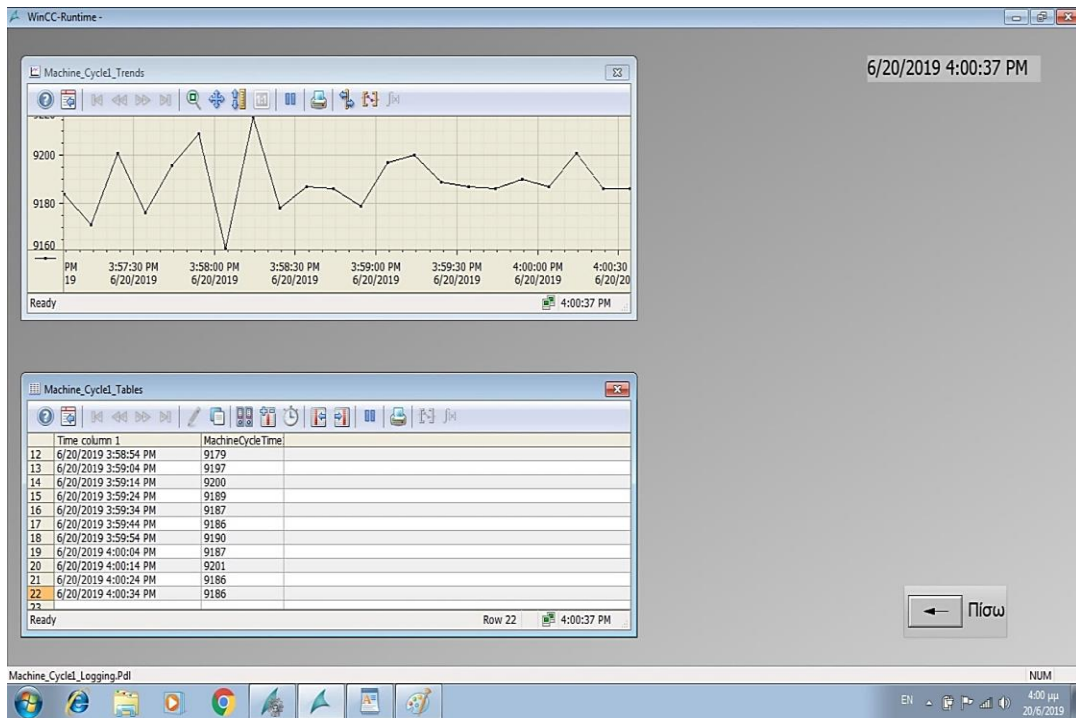
Εικόνα 276: Αρχική εικόνα εφαρμογής – Start.Pdl

Από την αρχική οθόνη πατώντας το button **Μηχανές** παρουσιάζεται η εικόνα 277 στην οποία εμφανίζονται τα πλαίσια με τις ενδείξεις λειτουργίας των δύο IMM που εντάχθηκαν στο σύστημα Krauss Maffei C2 και Sumitomo Demag EL-Exis. Επιπλέον έχοντας πατήσει τα button **Krauss Maffei C2** και **Demag EL-Exis** έχουν εμφανιστεί και τα αντίστοιχα picture windows που εμφανίζουν τους χρόνους που παρακολουθούνται για κάθε μηχανή.

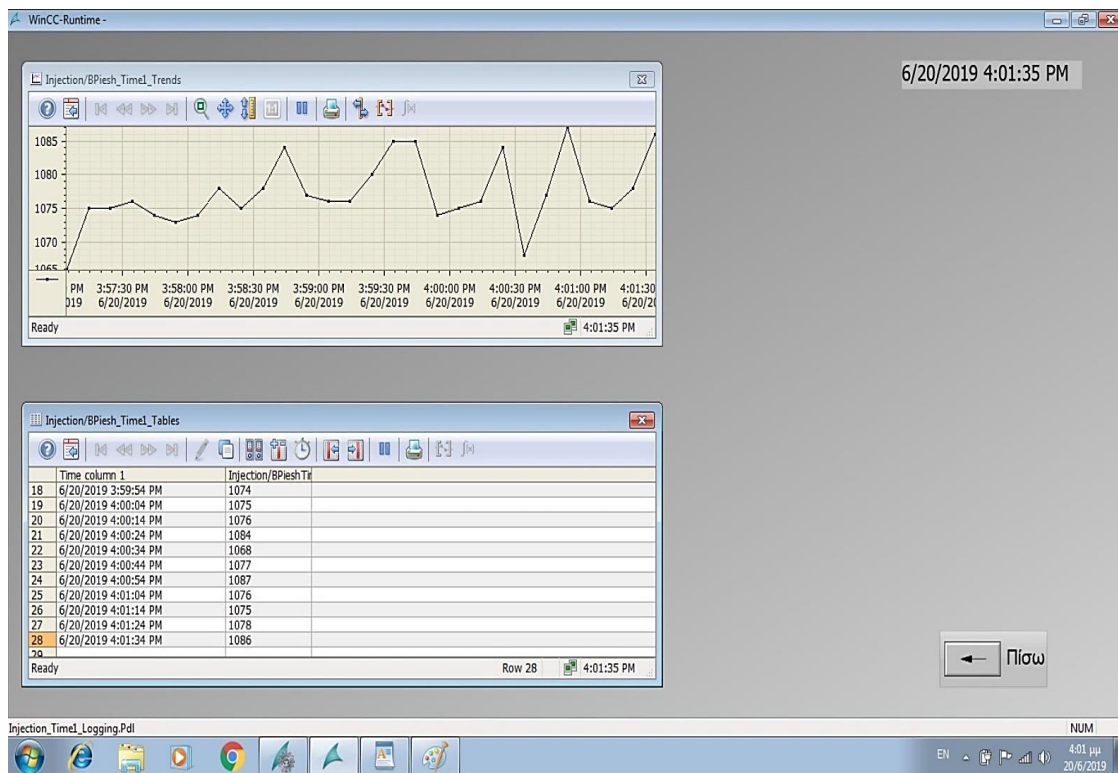


Εικόνα 277: Εικόνα παρακολούθησης των 2 IMM – Machines.Pdl

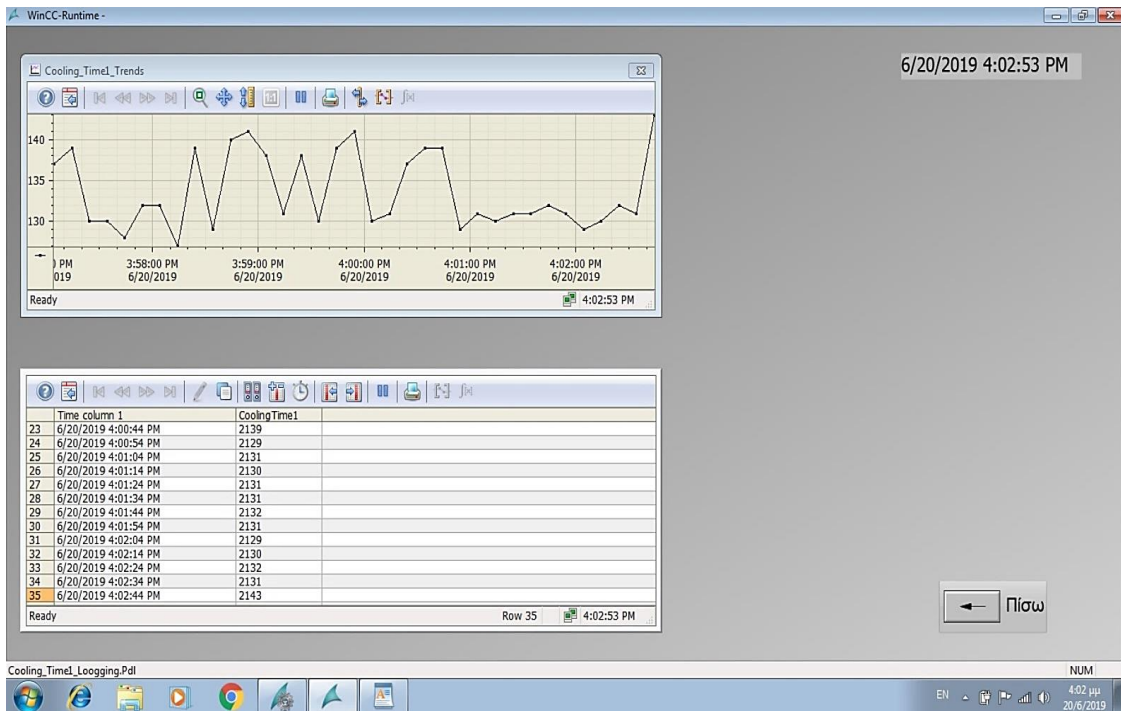
Στη συνέχεια, όπως ήδη έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο κεφάλαιο, εκτός της παρουσίασης των χρονικών παραμέτρων κάθε φορά που αυτοί ανανεώνονται (real time) για κάθε μηχανή, δίνεται η δυνατότητα στον χειριστή του συστήματος να λαμβάνει περισσότερες λεπτομέρειες για αυτές τις χρονικές μεταβλητές. Αυτό επιτυγχάνεται πατώντας στα αντίστοιχα button των δύο picture window, μέσω των οποίων μεταφέρεται σε αντίστοιχα παράθυρα όπου γίνεται καταγραφή και παρουσίαση των τιμών της κάθε χρονικής μεταβλητής με τη μορφή διαγραμμάτων και πινάκων καταγραφής. Έτσι δίνεται η δυνατότητα καταγραφής ιστορικού των τιμών των χρονικών μεταβλητών και περεταίρω επεξεργασίας του σε τοπικά διαστήματα αλλά και εκτύπωση τους. Οι εικόνες από 278 έως 285 παρουσιάζουν τα παραπάνω.



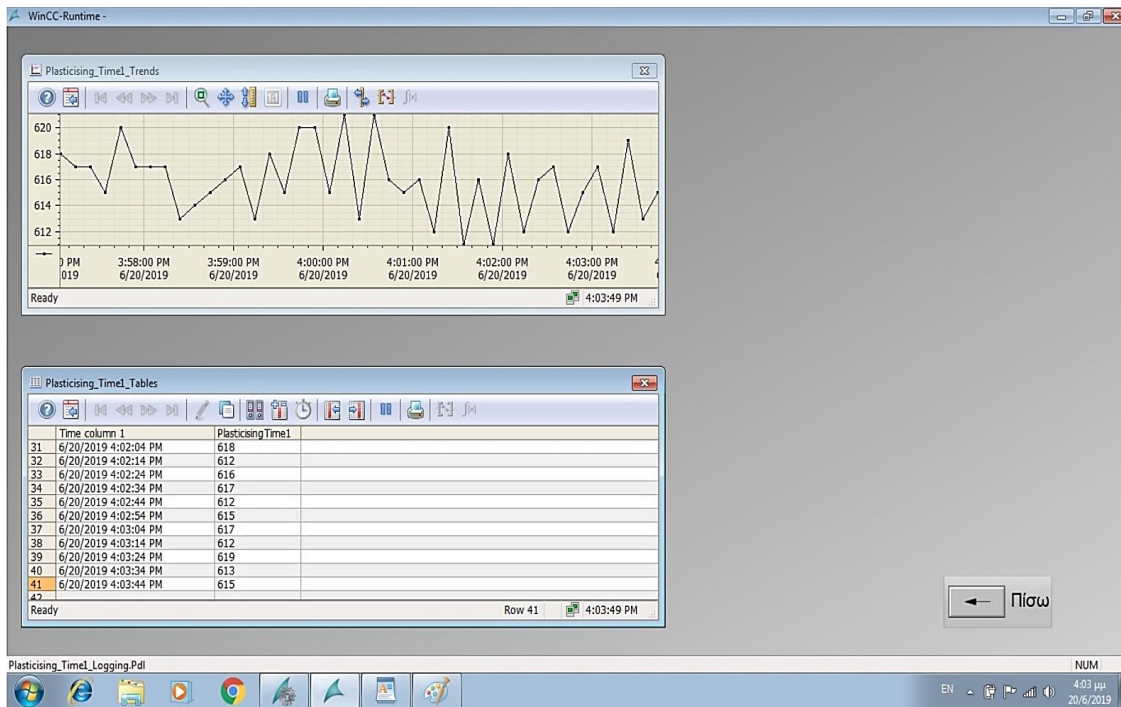
Εικόνα 278: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής MachineCycle1 – Machine_Cycle1_Logging.Pdl



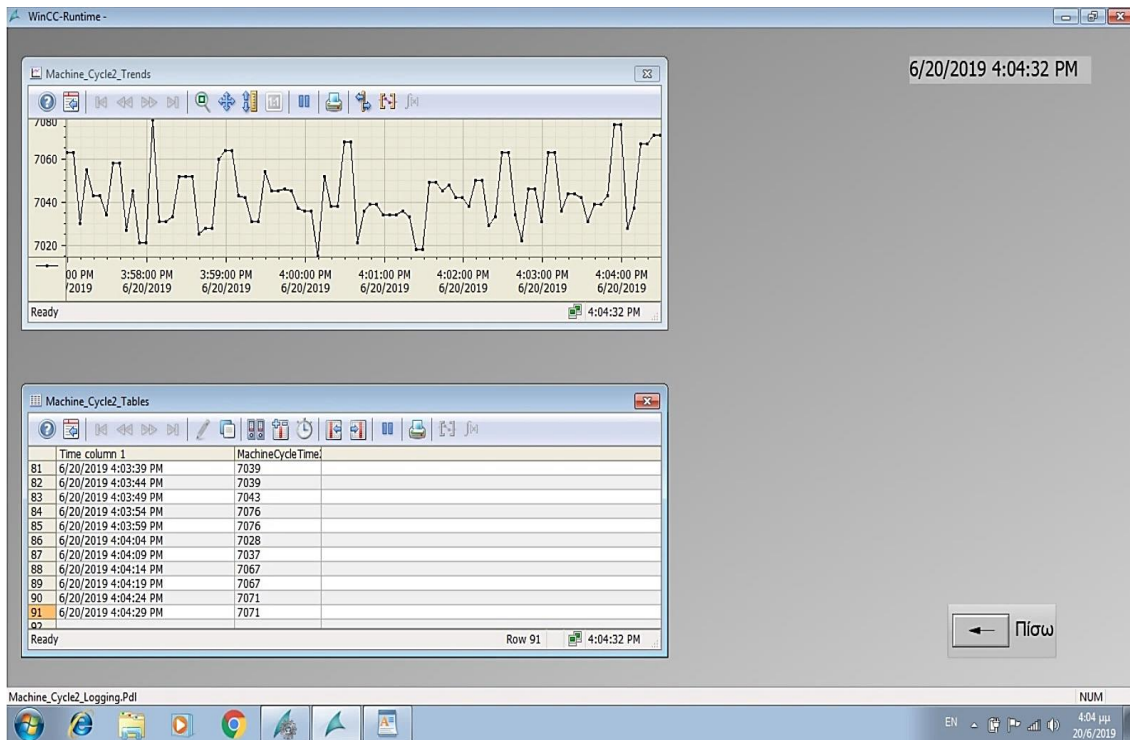
Εικόνα 279: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής Injection/BPieshTime – Injection_Time1_Logging.Pdl



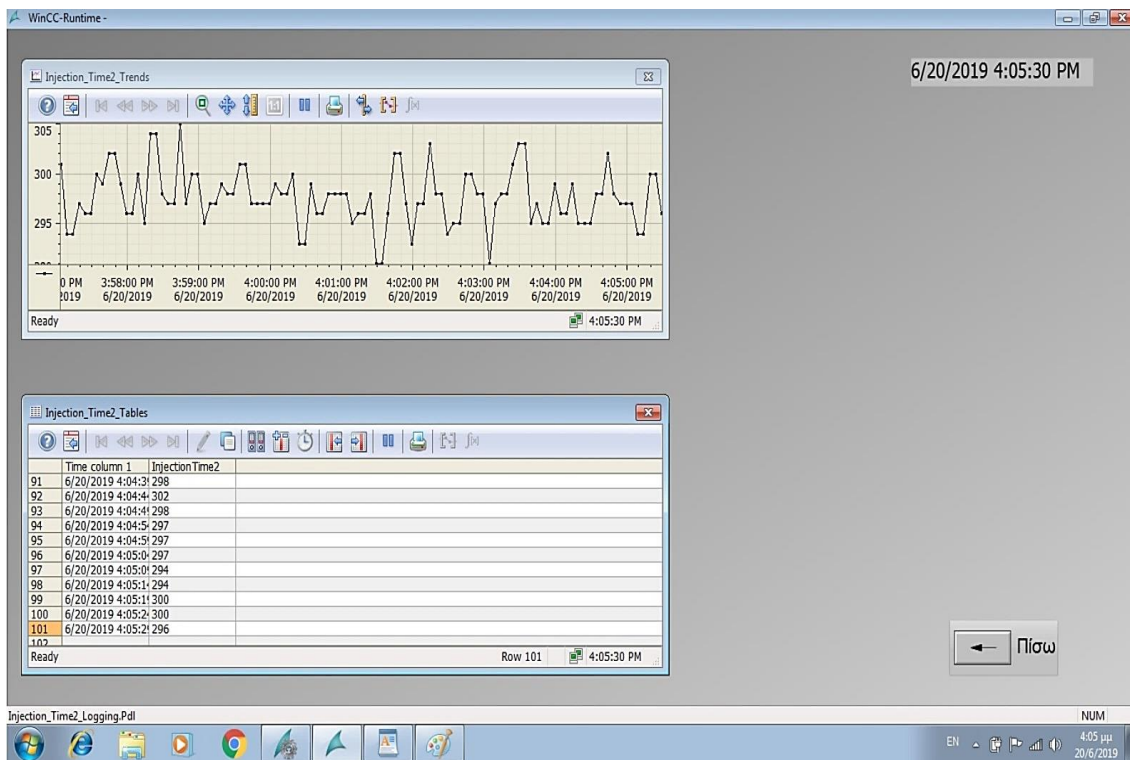
Εικόνα 280: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής CoolingTime1 – Cooling_Time1_Logging.Pdl



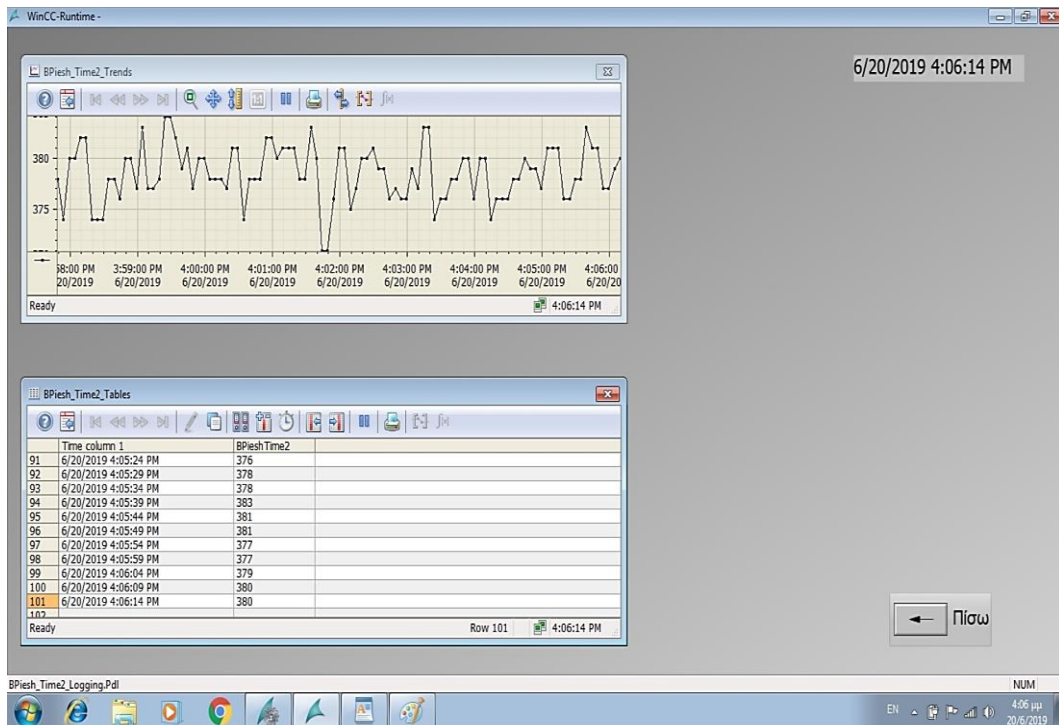
Εικόνα 281: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής PlasticisingTime1 – Plasticising_Time1_Logging.Pdl



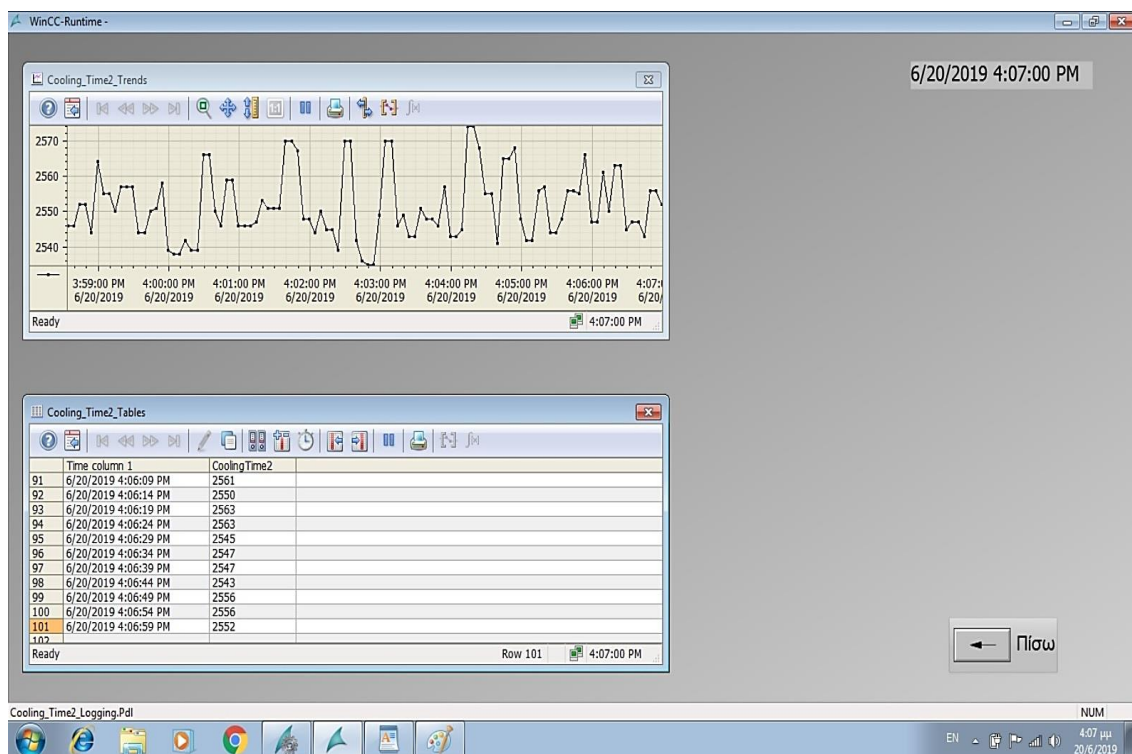
Εικόνα 282: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής MachineCycleTime2 – Machine_Cycle2_Logging.Pdl



Εικόνα 283: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής InjectionTime2 – Injection_Time2_Logging.Pdl



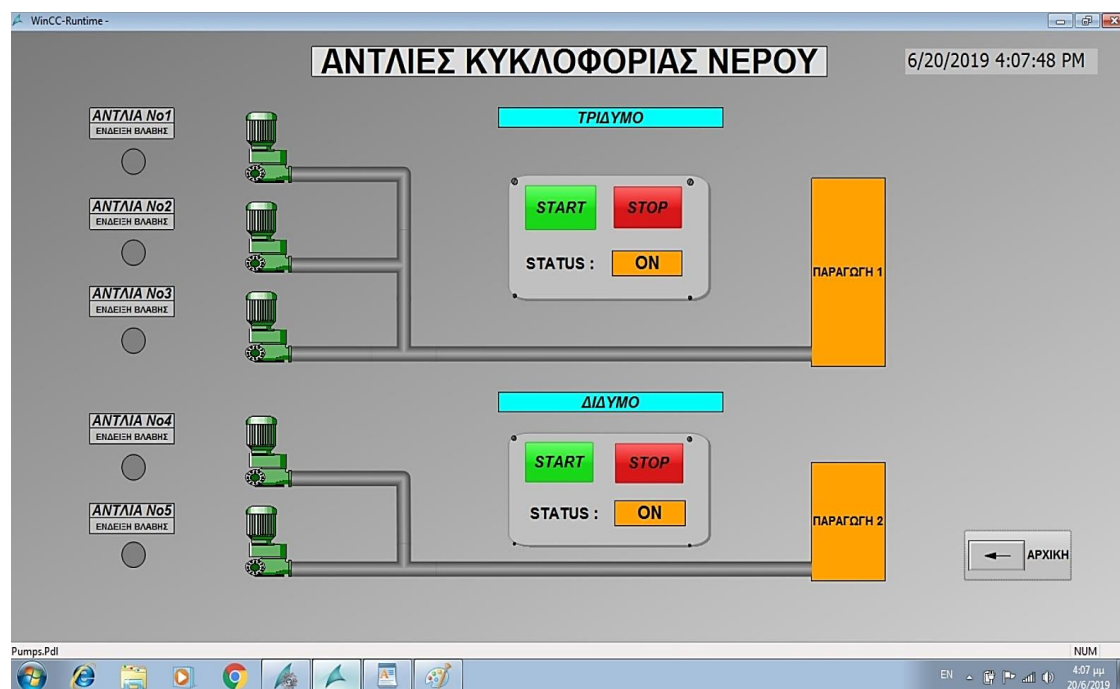
Εικόνα 284: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής BpreshTime2 – Bpresh_Time2_Logging.Pdl



Εικόνα 285: Καταγραφή χρονικής μεταβλητής CoolingTime2 – Cooling_Time2_Logging.Pdl

Από την αρχική εικόνα της εφαρμογής επιλέγοντας το button **Αντλίες** εμφανίζεται η εικόνα 286. Η συγκεκριμένη εικόνα απεικονίζει τα δύο συστήματα κυκλοφορίας νερού που υποστηρίζουν τη διεργασία IM του εργοστασίου. Σε αυτή την εικόνα παρατηρούνται οι ενδείξεις λειτουργίας κάθε αντλίας καθώς και το πλαίσιο των

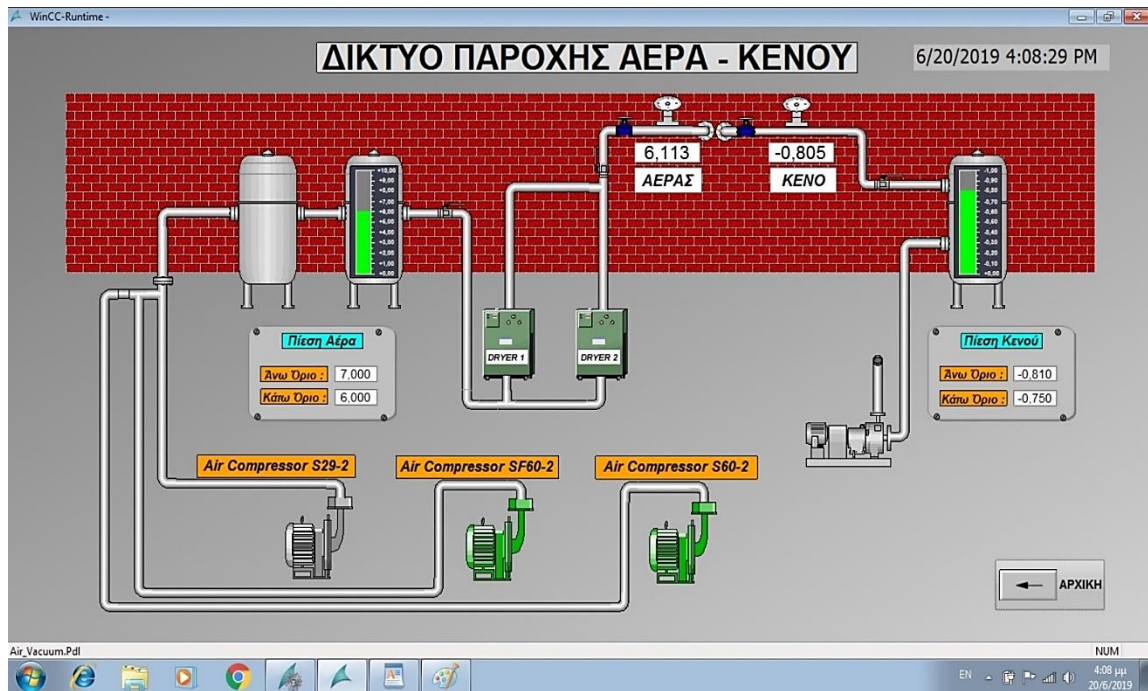
buttons **START** και **STOP** μέσω των οποίων επιτυγχάνεται ο απομακρυσμένος έλεγχος των συστημάτων.



Εικόνα 286: Εικόνα παρακολούθησης και ελέγχου των συστημάτων κυκλοφορίας νερού – Pumps.Pdl

Ακολουθώντας από την αρχική οθόνη της εφαρμογής επιλέγοντας το button **Αέρας & Κενό** εμφανίζεται η εικόνα 287. Στην εικόνα αυτή απεικονίζεται το κεντρικό δίκτυο αέρα και κενού του εργοστασίου καθώς και ο εξοπλισμός που το υποστηρίζει. Στο επάνω μέρος της εικόνας διακρίνονται τα πλαίσια στα οποία εμφανίζονται οι τιμές μέτρησης των αισθητήρων αέρα και κενού. Οι ίδιες μετρήσεις απεικονίζονται με τη μορφή μπάρας και επάνω στα δοχεία διαστολής των δύο συστημάτων. Πέραν όμως αυτής της απεικόνισης ο χειριστής της εφαρμογής έχει την ικανότητα μέσω χρωματικής αλλαγής των καταστάσεων στις δύο μπάρες να αντιλαμβάνεται αν τιμές των μετρούμενων μεγεθών (πίεση και κενό) βρίσκονται εκτός των ορίων. Τα όρια αυτά καθορίζονται από τον χειριστή του συστήματος SCADA και δίνονται σαν είσοδοι στο σύστημα μέσω των πλαισίων **Πίεση Αέρα** και **Πίεση Κενού** αντίστοιχα.

Επιπλέον στο κάτω μέρος της εικόνας 287 ο χειριστής έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί την κατάσταση λειτουργίας των τριών αεροσυμπιεστών της BOGE αρχικά από το χρώμα που έχει καθένα από τα 3 συστήματα. Στη συγκεκριμένη εικόνα τη δεδομένη χρονική στιγμή όπως ευκολά διακρίνεται οι αεροσυμπιεστές **S60-2** και **SF60-2** βρίσκονται σε κατάσταση λειτουργίας ενώ αντίθετα ο **S29-2** όχι.



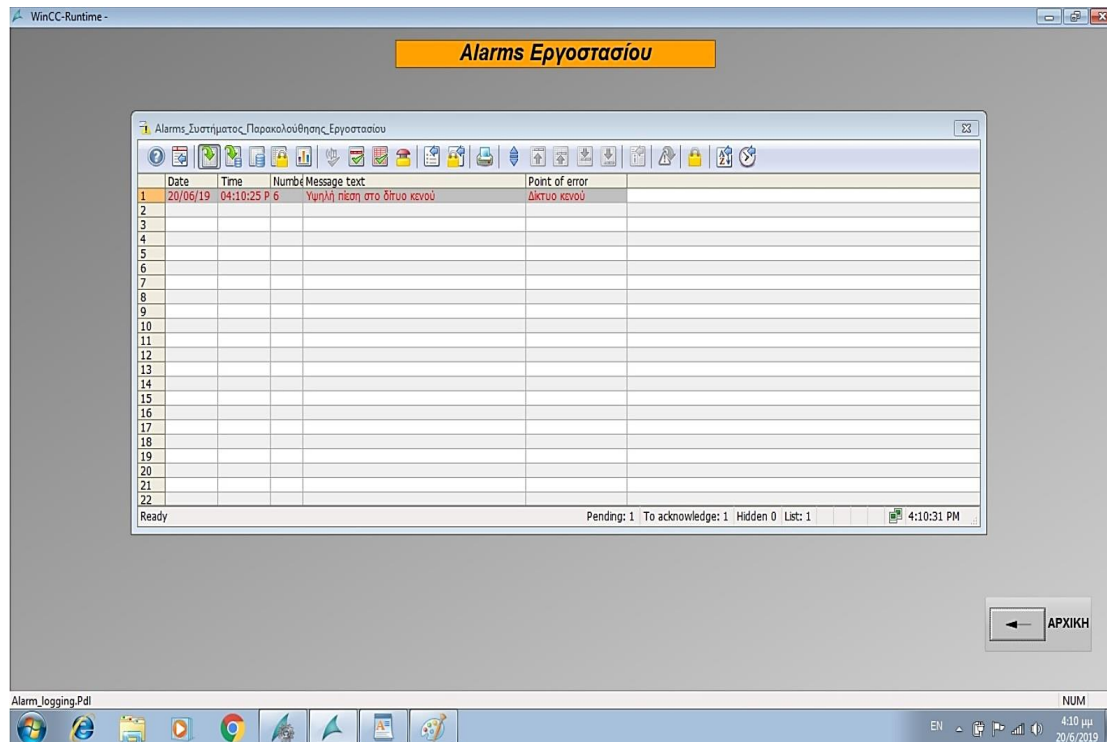
Εικόνα 287: Εικόνα παρακολούθησης και ελέγχου του κεντρικού δικτύου αέρα και κενού 1/2 – Air_Vacuum.Pdl

Επίσης όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο 7 τα 3 αντικείμενα που απεικονίζουν τους 3 αεροσυμπιεστές του συστήματος παροχής πεπιεσμένου αέρα αποτελούν ταυτόχρονα buttons. Επιλέγοντας τα συγκεκριμένα αντικείμενα εμφανίζεται αντίστοιχα για το καθένα ένα πλαίσιο (picture window). Μέσω των πλαισίων αυτών λαμβάνονται περαιτέρω πληροφορίες για τη λειτουργία τους, όπως η ένδειξη μίας πιθανής βλάβης, καθώς επίσης επιτυγχάνεται και η εκτέλεση απομακρυσμένου ελέγχου για τα δυο εξ αυτών. Τα παραπάνω παρουσιάζονται στην εικόνα 288.



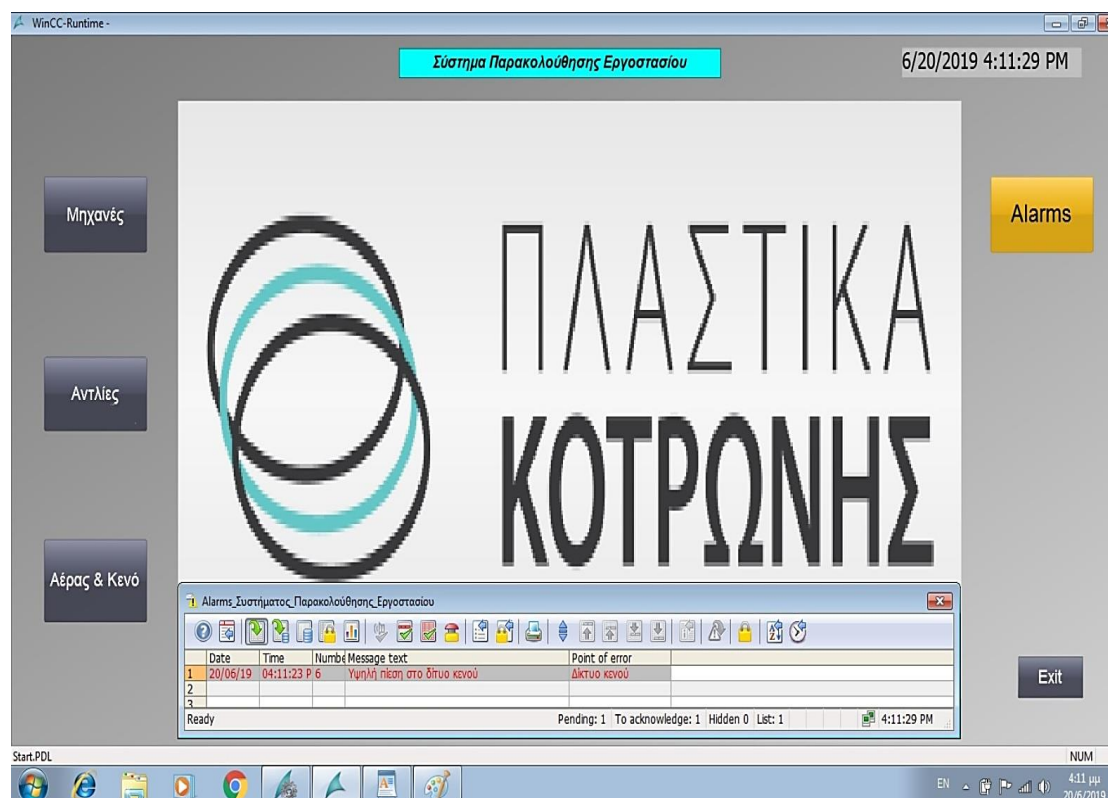
Εικόνα 288: Εικόνα παρακολούθησης και ελέγχου του κεντρικού δικτύου αέρα και κενού 2/2 – Air_Vacuum.Pdl

Η τελευταία επιλογή της αρχικής εικόνας της εφαρμογής αποτελεί το button **Alarms**. Το πάτημα αυτού εμφανίζει την εικόνα 289 η οποία περιέχει έναν πίνακα με τα μηνύματα εκτάκτων καταστάσεων ταξινομημένα κατά χρονολογική σειρά εμφάνισης. Επίσης ανάλογα με το χρώμα εμφάνισης των μηνυμάτων γίνεται και διαχωρισμός της κατάστασης τους όπως έχει οριστεί την υποενότητα 7.4.9.



Εικόνα 289: Απεικόνιση μηνυμάτων Alarm – Alarm_Logging.Pdl

Η τελευταία εικόνα που παρατίθεται είναι και πάλι το αρχικό μενού με την εμφάνιση του μηνύματος alarm και στην αρχική οθόνη.



Εικόνα 290: Αρχική εικόνα εφαρμογής με την παρουσίαση κατάστασης alarm– Start.Pdl

Το επόμενο κεφάλαιο αποτελεί ουσιαστικά τελευταίο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας και αναφέρεται στα συμπεράσματα που προέκυψαν από τη δημιουργία του συστήματος παρακολούθησης και εποπτικού ελέγχου για βιομηχανική μονάδα παραγωγής πλαστικών για τρόφιμα «ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΟΤΡΩΝΗΣ ΑΒΕΕ». Επιπλέον μέσα από αναφορές σε υπάρχουσες εργασίες και διατριβές που αφορούν την διεργασία ΙΜ τονίζεται η σημασία που αποκτά στην σημερινή εποχή της **4^{ης} Βιομηχανικής Επανάστασης (Industry 4.0)** η συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων που προκύπτουν από τη διεργασία ΙΜ.

Κεφάλαιο 9 - Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα

Στο παρόν κεφάλαιο το οποίο αποτελεί το τελευταίο της μεταπτυχιακής εργασίας παρουσιάζεται η σημασία που αποκτά η συλλογή και επεξεργασία των κρίσιμων μεταβλητών της παραγωγικής διαδικασίας IM. Αυτό γίνεται μέσω της παρουσίασης ερευνών που χρησιμοποιούν τα δεδομένα αυτά ως βάση για την ανάπτυξη μεθόδων βελτιστοποίηση της διεργασίας IM. Τέλος το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με μία πρόταση για την μελλοντική βελτίωση του συστήματος εμποτικού ελέγχου που αναπτύχθηκε για λογαριασμό της εταιρίας «ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΟΤΡΩΝΗΣ ΑΒΕΕ».

9.1 Ανασκόπηση εργασίας και περεταίρω εξέλιξη

Η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία ξεκίνησε αρχικά με τη μελέτη της διεργασίας Injection Molding (IM) και των μηχανών που την εκτελούν, δηλαδή των Injection Molding Machines (IMM), καθώς και των στοιχείων από τα οποία αυτές αποτελούνται. Η διαδικασία αυτή έφερε στο φως τους παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα την ορθή παραγωγική διαδικασία αλλά και την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων.

Μέσα από αυτή την ανάλυση έγινε εμφανές πόσο μεγάλος είναι ο βαθμός αλληλεπίδρασης των συγκεκριμένων παραγόντων μίας και η αλλαγή της τιμής ενός από αυτούς επηρεάζει άμεσα η έμμεσα πολλούς από τους υπολοίπους. Επομένως η παρακολούθηση και η ρύθμιση των παραγόντων αυτών είναι ζωτικής σημασίας για την παραγωγή προϊόντων με τα επιθυμητά χαρακτηριστικά. Εντούτοις η βέλτιστη ρύθμιση των παραμέτρων της διεργασίας IM με σκοπό την βέλτιστη ποιότητα των προϊόντων είναι μία αρκετά χρονοβόρα διαδικασία η οποία τις περισσότερες φορές στηρίζεται στη μέθοδο δοκιμής και σφάλματος.

Στην αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος έρχεται να βοηθήσει η συλλογή σε πραγματικό χρόνο και η επεξεργασία δεδομένων που έχουν να κάνουν με τις βασικές παράμετρος της διεργασίας IM. Η διαδικασία αυτή αποτελεί το πρώτο κρίσιμο στάδιο στην βελτίωση της ποιότητάς κατασκευής των παραγόμενων προϊόντων μέσα από τη βέλτιστη επιλογή των κυρίων παραμέτρων της διεργασίας IM.

Τα δεδομένα των IMM που συλλέχθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας μέσω του συστήματος SCADA αποτελούν ένα πρώτο αλλά σημαντικό βήμα προς αυτή την κατεύθυνση. Τα δεδομένα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν δεδομένα εισόδου σε μαθηματικά μοντέλα και αλγορίθμους σκοπός των οποίων είναι η εξαγωγή των βέλτιστων παραμέτρων ρύθμισης της διεργασίας IM.

Για του λόγου του αληθές, οι H Lee, Y Liau και K Ryu στην εργασία τους [9] προτείνουν μία μεθοδολογία βελτιστοποίησης των παραμέτρων της διεργασίας IM σε

πραγματικό χρόνο η οποία βασίζεται σε νευρωνικά δίκτυα και αντλεί δεδομένα από τα καλούπια των μηχανών, δεδομένα από τις IMM καθώς και χρονικά δεδομένα όπως χαρακτηριστικά ο χρόνος ψύξης της διεργασίας.

Ακόμη μία άλλη πλευρά όπου η συλλογή και παρακολούθηση των βασικών παραμέτρων της διεργασίας IM σε πραγματικό χρόνο παίζει σημαντικό ρόλο είναι οι μέθοδοι προβλεπτικής συντήρησης κύριων στοιχείων του εξοπλισμού των IMM. Με δεδομένη την επιθυμία των κατασκευαστών πλαστικών προϊόντων μέσω της διεργασίας IM να είναι ανταγωνιστικοί σε μία δυναμικά εξελισσόμενη αγορά, η αυξανόμενη προσπάθεια διατήρησης της καλής λειτουργίας του εξοπλισμού τους είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που συμβάλει σε αυτό. Μάλιστα πάνω από το 30% από τα κόστη συντήρησης προκαλούνται από λάθη στον προγραμματισμό των συντηρήσεων, πράγμα που οδηγεί με τη σειρά του σε αχρειαστα κόστη παραγωγής [33].

Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η εργασία [34] των Chulsoon Park, Dughee Moon, Namchul Do και Sung Moon Bae στην οποία χρησιμοποιούνται τεχνικές στατιστικών αναλύσεων σε δεδομένα κύριων παραμέτρων της διεργασίας IM τα οποία συλλέγονται σε πραγματικό χρόνο. Μάλιστα 2 από τις συνολικά 7 παραμέτρους που επιλέχθηκαν ως είσοδοι για το μοντέλο πρόβλεψης συντήρησης που ανέπτυξαν αποτελούν ο χρόνος κύκλου της μηχανής και ο χρόνος πλαστικοποίησης. Η διαδικασία προβλεπτικής συντήρησης που προτείνεται αποφασίζει το χρονικό σημείο συντήρησης για κύρια εξαρτήματα η και ολόκληρο τον εξοπλισμό των IMM βασισμένη στην ανάλυση σειρών από δεδομένα των βασικών παραμέτρων της διεργασίας IM.

Μέσα από τις παραπάνω έρευνες αλλά και από πολλές άλλες που ασχολούνται με θέματα βελτιστοποίησης της παραγωγικής διαδικασίας IM, γίνεται εμφανής ο κρίσιμος ρόλος της συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων που έχουν να κάνουν με τις παραμέτρους της διεργασίας IM.

Μελλοντικά το παρόν σύστημα SCADA θα μπορούσε να εξελιχθεί ολοκληρώνοντας σε αυτό περισσότερες IMM και συλλέγοντας περισσότερα δεδομένα από τις εν λόγω μηχανές. Τα δεδομένα αυτά θα μπορούσαν να χρησιμοποιούνται σε μοντέλα που θα εξάγουν βέλτιστες τιμές για την ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας των μηχανών, τη βελτίωση της λειτουργία του εξοπλισμού και τον καλύτερο προγραμματισμό των εργασιών. Τα παραπάνω συμβάλουν στην επίτευξη των στόχων που θέτει το **Industry 4.0** για τις σύγχρονες βιομηχανικές μονάδες.

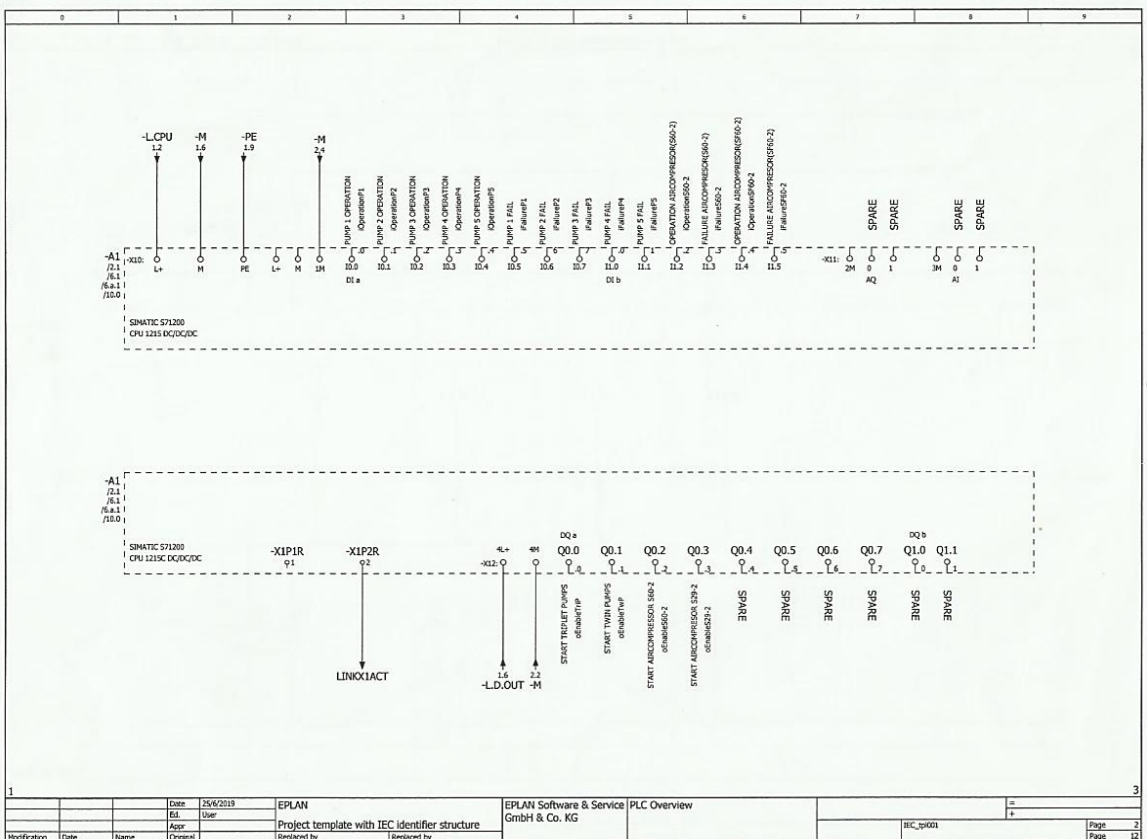
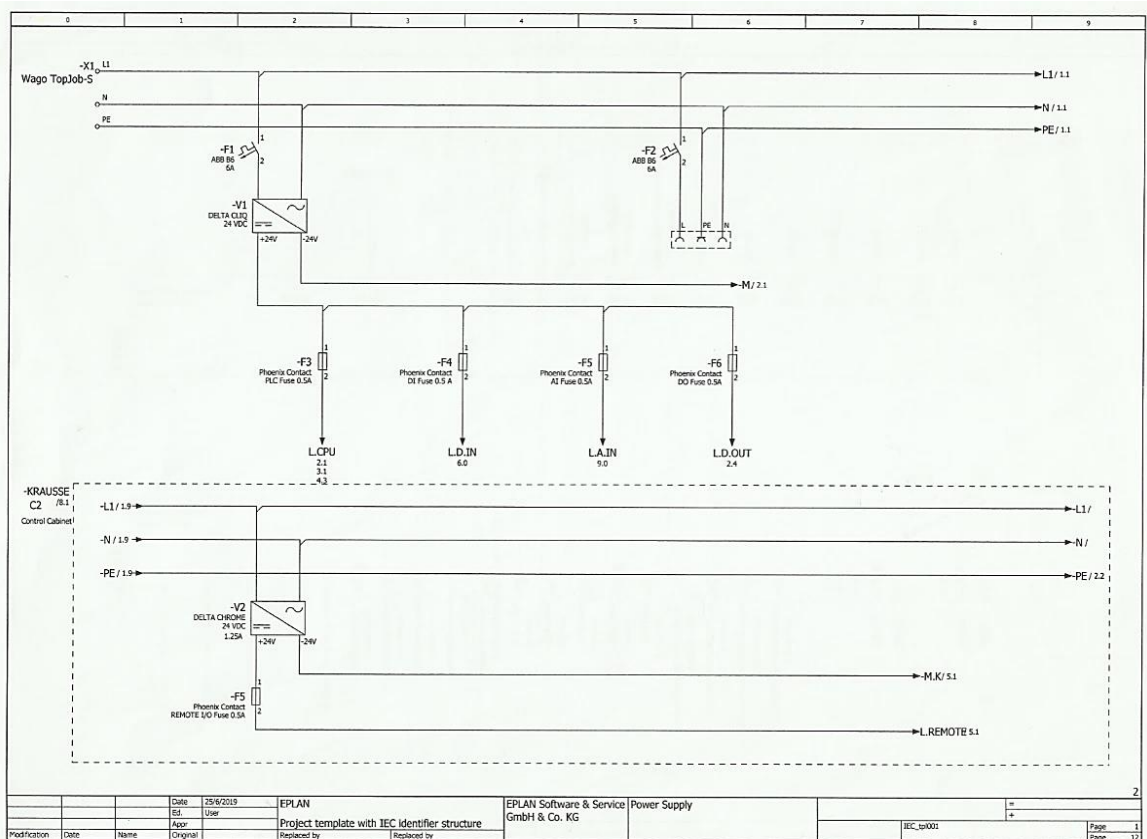
Βιβλιογραφία

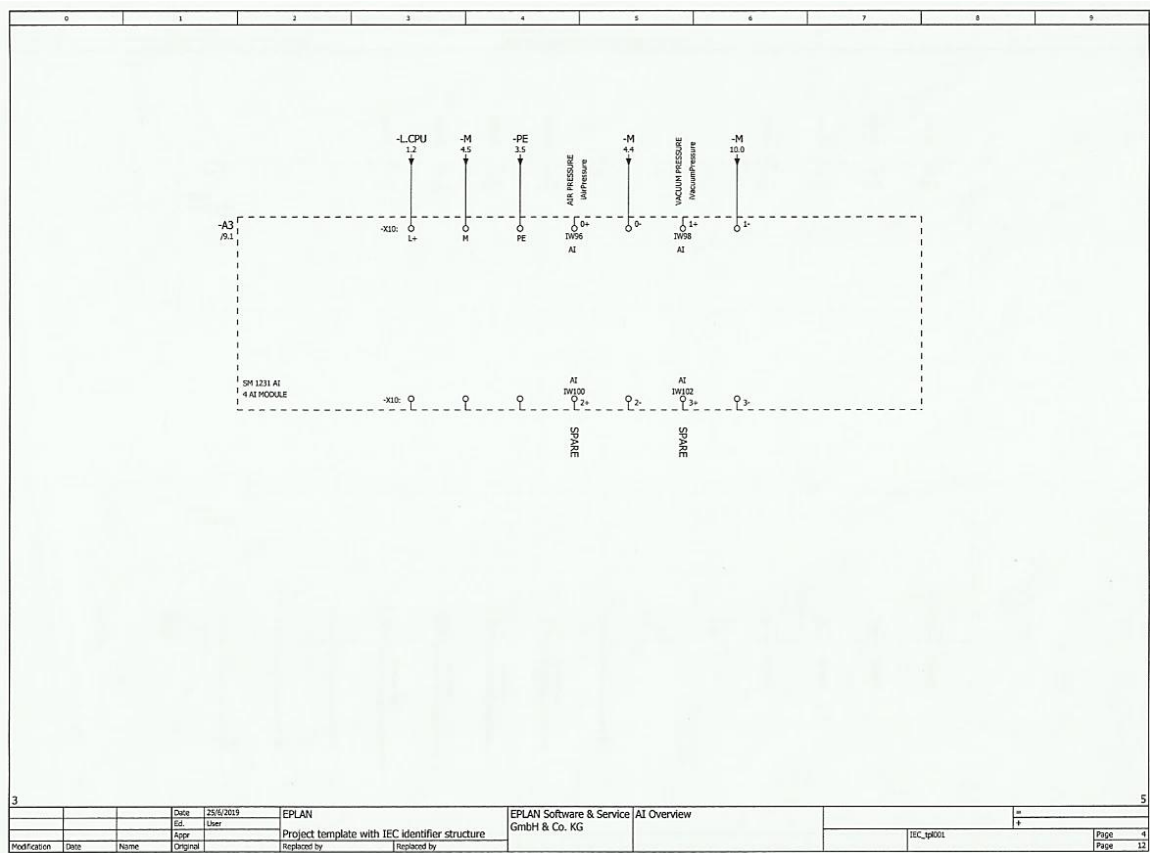
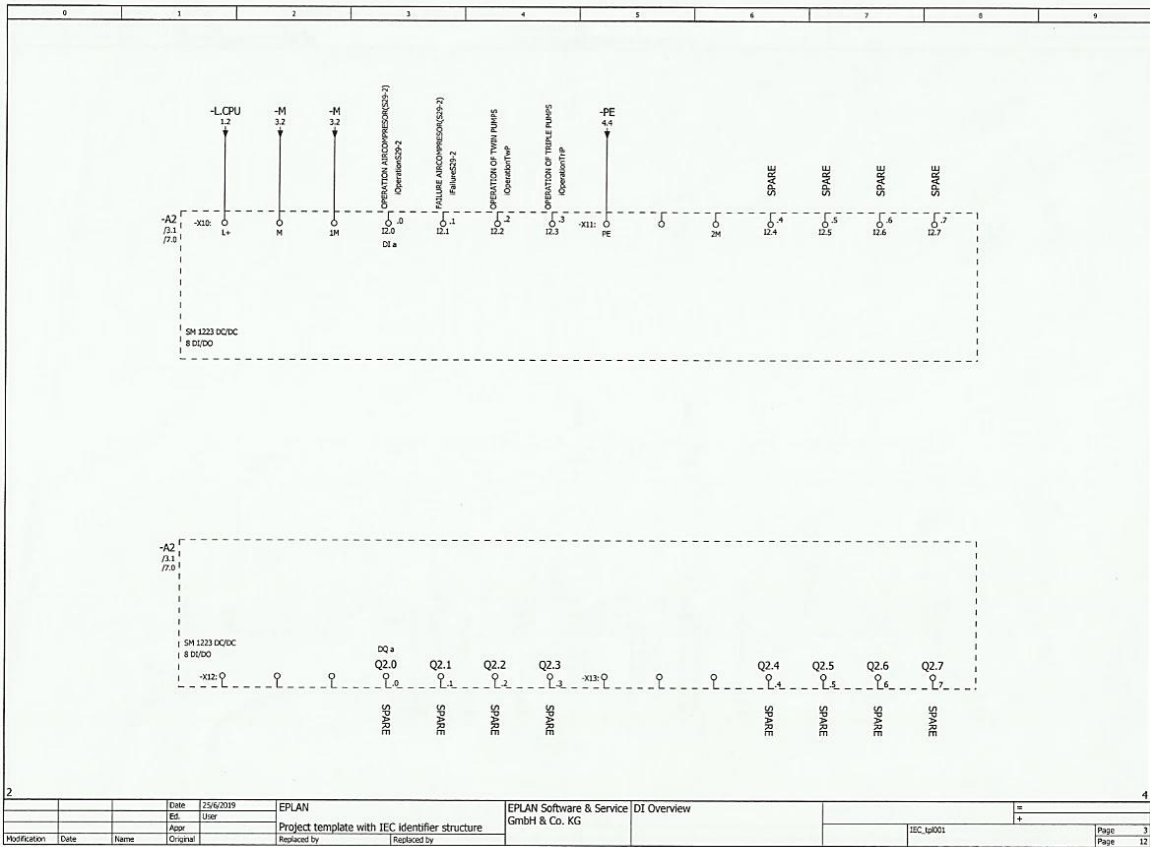
- [1] “Plastic Container Manufacturers | Plastic Container Supplier.” <https://www.plastic-containers.net/#read> (accessed Jun. 28, 2020).
- [2] “Injection Molded Plastic Companies | IQS Directory.” <https://www.iqsdirectory.com/injection-molded-plastics/> (accessed Jun. 28, 2020).
- [3] R. Bloss, “Robots that are faster or perform in-mold labeling highlight plastics show,” *Ind. Rob.*, vol. 37, no. 1, pp. 13–16, 2010, doi: 10.1108/01439911011009911.
- [4] “In Mold Labeling (IML) Pilot Cell at StackTeck - Breaking News, newMaker.com.” [http://www.newmaker.com/news-815-In-Mold-Labeling-\(IML\)-Pilot-Cell-at-StackTeck.html](http://www.newmaker.com/news-815-In-Mold-Labeling-(IML)-Pilot-Cell-at-StackTeck.html) (accessed Jun. 28, 2020).
- [5] W. G. Frizelle, *Injection Molding Technology*, Second Edi. Elsevier Inc., 2017.
- [6] K. Maffei, Ed., *Τεχνική Τεκμηρίωση Μηχανής χύτευσης υπό Πιεση*. 2005.
- [7] F. Johannaber, “Injection Moulding Machines,” *Kunststoffe - Ger. Plast.*, vol. 73, no. 12, pp. 4–7, 1983.
- [8] “CHAPTER 2 INJECTION MOULDING PROCESS.”
- [9] H. Lee, Y. Liao, and K. Ryu, “Real-time parameter optimization based on neural network for smart injection molding,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 324, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/324/1/012076.
- [10] SCADA Systems, “SCADA Systems - SCADA Systems,” *80th Annual International School of Hydrocarbon Measurement 2005*, 2019. <https://www.engineersgarage.com/egblog/scada-systems/> (accessed Jul. 01, 2020).
- [11] T. Adams, “SCADA Systems Intermediate Overview,” *Tech. Inf. Bull. 04-1*, no. 877, pp. 1–64, 2004.
- [12] OPC Foundation, “What is OPC? - OPC Foundation,” 2018. <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/> (accessed Jul. 01, 2020).
- [13] A. Ujvarosi, “Evolution of SCADA Systems,” *Bull. Transilv. Univ. Braşov*, vol. 9, no. 58, pp. 63–68, 2016, [Online]. Available: http://webbut.unitbv.ro/Bulletin/Series I/2016/BULETIN I PDF/Ujvarosi_Al.pdf.
- [14] T. Equipment, “Fundamentals of RS-232 Serial Communications,” *Interface*, pp. 1–9, Mar. 2001, Accessed: Jul. 01, 2020. [Online]. Available: <http://ecee.colorado.edu/~mclurel/dan83.pdf>.
- [15] “RS-232 - Wikipedia.” <https://en.wikipedia.org/wiki/RS-232> (accessed Jul. 01, 2020).
- [16] L. BIES, “RS485, specifications and in depth tutorial - Lammert Bies,” 2020. <https://www.lammertbies.nl/comm/info/rs-485> (accessed Jul. 01, 2020).
- [17] “RS485 Pinout - RS485 connector pinout and contacts.” <https://www.virtual-serial-port.org/article/what-is-serial-port/rs485-pinout/> (accessed Jul. 01, 2020).

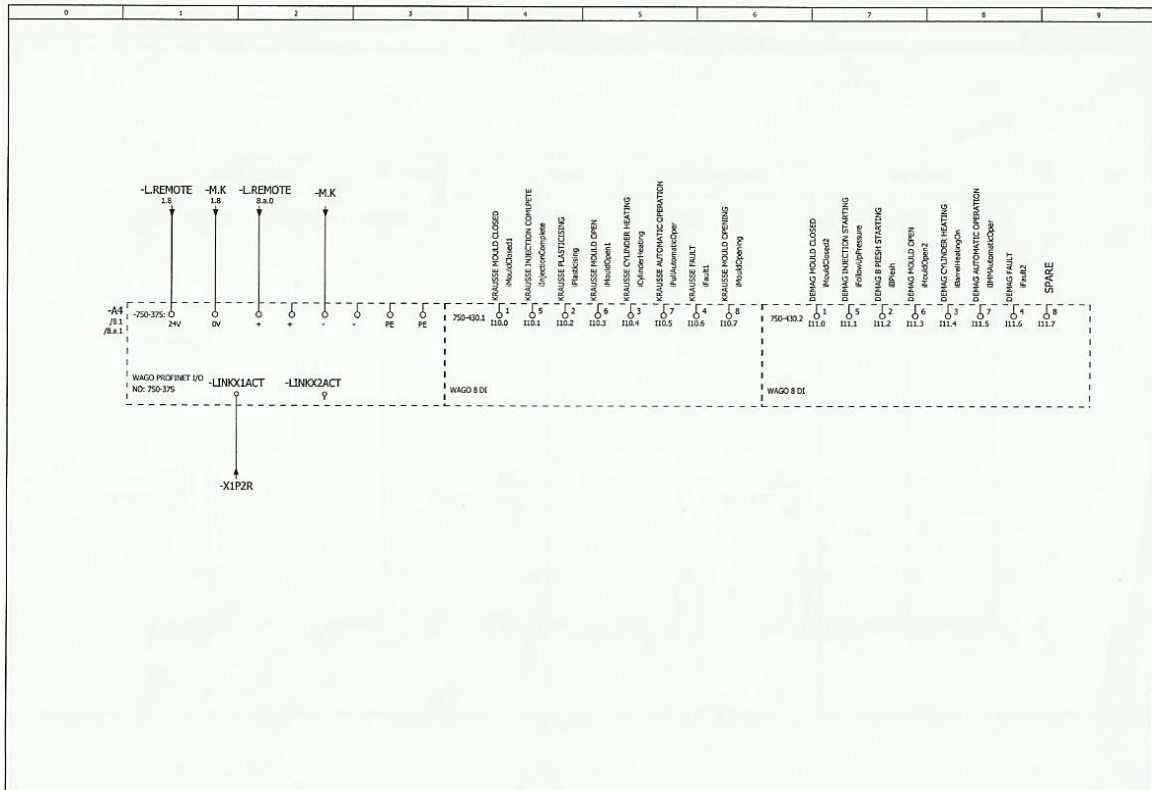
- [18] IPC2U, “Modbus RTU made simple with detailed descriptions and examples,” 2019. https://ipc2u.com/articles/knowledge-base/modbus-rtu-made-simple-with-detailed-descriptions-and-examples/?gclid=EAlalQobChMIuPv3pMar3wIVA_hRCh2jfgFfEAAYASAAEgJSK_D_BwE (accessed Jul. 02, 2020).
- [19] “Detailed description of the Modbus TCP protocol with command examples.” <https://ipc2u.com/articles/knowledge-base/detailed-description-of-the-modbus-tcp-protocol-with-command-examples/> (accessed Jul. 02, 2020).
- [20] “System Structure,” 1991, pp. 36–76.
- [21] P. N. e. V. (PNO), “PROFINET System Description.” p. 28, 2014, Accessed: Jul. 02, 2020. [Online]. Available: http://us.profinet.com/wp-content/uploads/2012/11/PI_PROFINET_SystemDescription_EN_2014_01.pdf.
- [22] “The High-Speed Benchmark.”
- [23] “Products - Inverters - AC Motor Drives - Delta Group.” <https://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060101&PID=260&hl=en-US&Name=CP2000+Series> (accessed Jul. 02, 2020).
- [24] “Products - PLC - Programmable Logic Controllers - ISPSOFT Programming Software - Delta Group.” <http://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060301&PID=168&hl=en-US&Name=DVP-SX2+Series> (accessed Jul. 02, 2020).
- [25] “BOGE Compressors | Screw Compressor S Series up to 45 kW.” <https://www.boge.com/en/products/S-series-screwcompressor-up-to45> (accessed Jul. 02, 2020).
- [26] “Technical Recommendations | EUROMAP - European Plastics and Rubber Machinery.” <http://www.euromap.org/en/technical-issues/technical-recommendations> (accessed Jul. 02, 2020).
- [27] EUROMAP, “EUROMAP 67 - Electrical Interface between Injection Moulding Machine and Handling Device,” vol. 2015, no. May, pp. 1–9, 2013, [Online]. Available: http://www.euromap.org/files/EU12_v1_5.pdf.
- [28] “S7-1200 - Industry Mall - Siemens WW.” [https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10045647?tree=CatalogTree#Technical specifications](https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10045647?tree=CatalogTree#Technical%20specifications) (accessed Jul. 02, 2020).
- [29] Siemens AG Industry Sector, “Product Details - Industry Mall - Siemens Italy,” 2012. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Product/6ES7231-4HD32-0XB0> (accessed Jul. 02, 2020).
- [30] “Fieldbus Coupler PROFINET IO (750-375) | WAGO.” <https://www.wago.com/global/i-o-systems/fieldbus-coupler-profinet-io/p/750-375> (accessed Jul. 02, 2020).
- [31] “PBT-RB010SG1SSNAMA0Z | Fluid sensors SICK.” <https://www.sick.com/ag/en/fluid-sensors/pressure-sensors/pbt/pbt-rb010sg1ssnama0z/p/p173384> (accessed Jul. 02, 2020).

- [32] "PBT-CB1X0SG1SSNAMA0Z | Fluid sensors SICK." <https://www.sick.com/ag/en/fluid-sensors/pressure-sensors/pbt/pbt-cb1x0sg1ssnama0z/p/p173512> (accessed Jul. 02, 2020).
- [33] A. Salonen and M. Deleryd, "Cost of poor maintenance: A concept for maintenance performance improvement," *J. Qual. Maint. Eng.*, vol. 17, no. 1, pp. 63–73, 2011, doi: 10.1108/13552511111116259.
- [34] C. Park, D. Moon, N. Do, and S. M. Bae, "A predictive maintenance approach based on real-time internal parameter monitoring," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 85, no. 1–4, pp. 623–632, 2016, doi: 10.1007/s00170-015-7981-6.

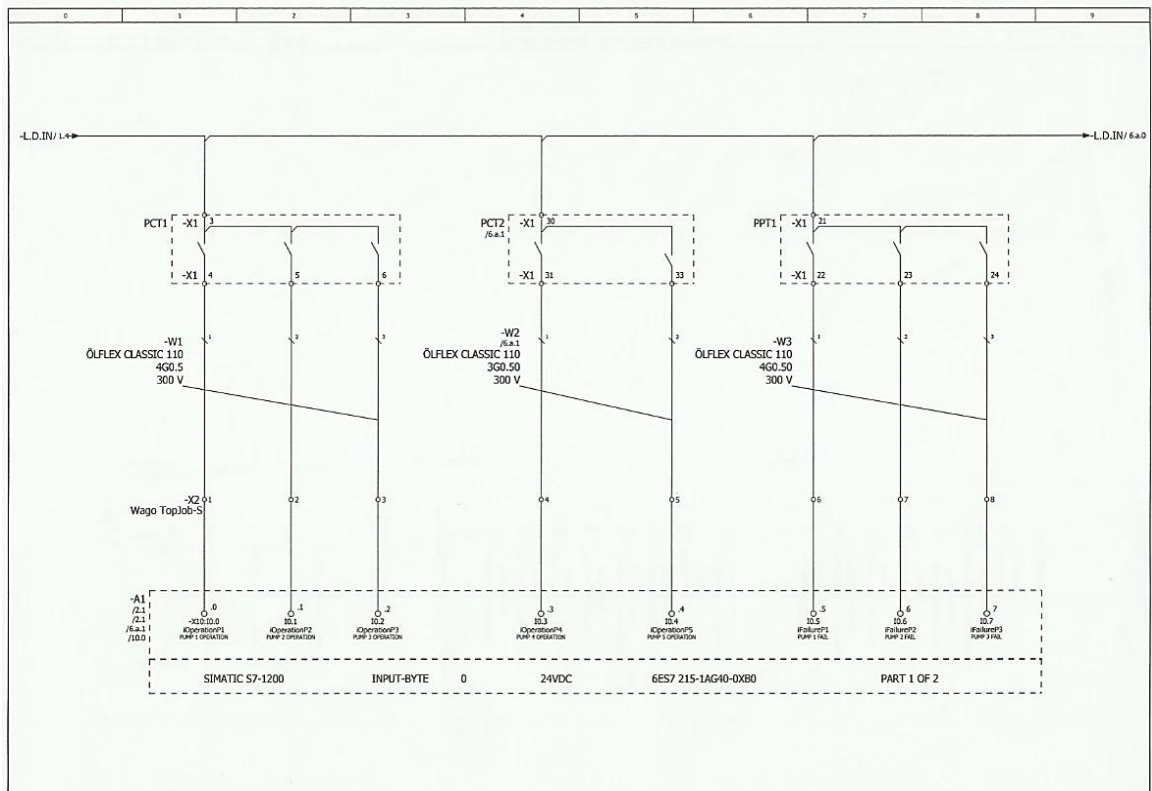
ΠΑΡΑΤΗΜΑ – Ηλεκτρολογικό σχέδιο



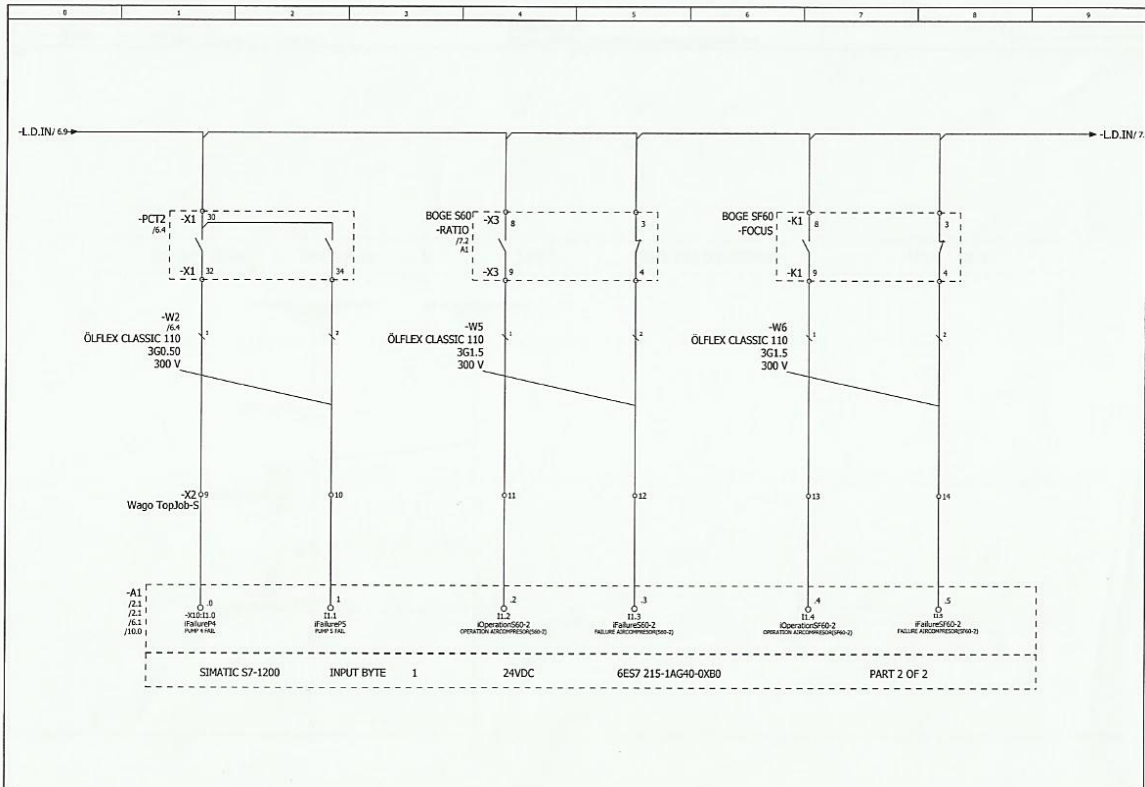




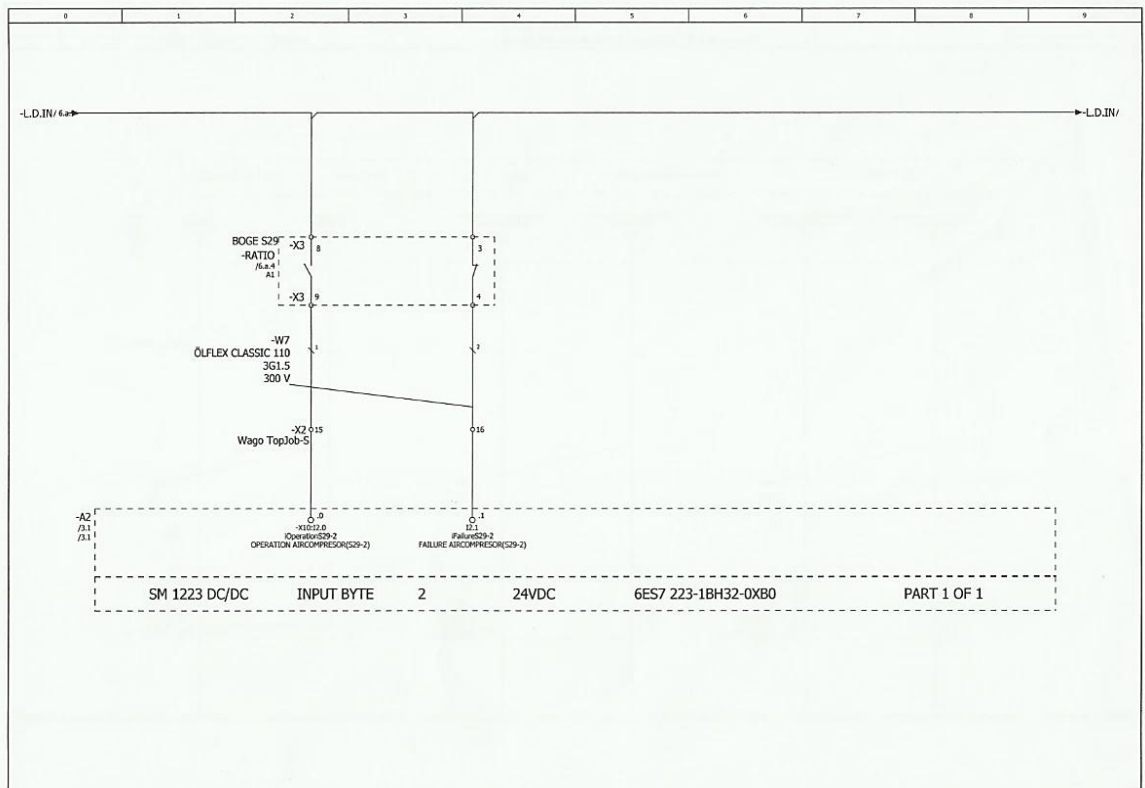
Date: 12/5/2019		EPLAN		EPLAN Software & Service Remote I/O Overview		=	
User: User		Project template with IEC identifier structure		GmbH & Co. KG		+	
Modification	Date	Name	Original	Replaced by	Replaced by	REC_tq001	Page: 5
							Page: 12



Date: 25/6/2019		EPLAN		EPLAN Software & Service PLC Digital Input Connection		=	
User: User		Project template with IEC identifier structure		GmbH & Co. KG		+	
Modification	Date	Name	Original	Replaced by	Replaced by	REC_tq001	Page: 6
							Page: 12



Date: 25/6/2019		EPLAN		EPLAN Software & Service		PLC Digital Input Connection		=	
Ed: User		Project template with IEC identifier structure		GmbH & Co. KG				+	
Appr:		Replaced by:						IEC_tq001	
Modification	Date	Name	Original	Replaced by	Replaced by			Page	6.a
								Page	12



Date: 25/6/2019		EPLAN		EPLAN Software & Service		DI Digital Input Connection		=	
Ed: User		Project template with IEC identifier structure		GmbH & Co. KG				+	
Appr:		Replaced by:						IEC_tq001	
Modification	Date	Name	Original	Replaced by	Replaced by			Page	7
								Page	12

